



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERENCANAAN RUNWAY LINGKARAN UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS RUNWAY**

Reynaldi Tejakesuma

NRP 3114100119

Dosen Pembimbing

Ir. Ervina Ahyudanari, M.E, PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERENCANAAN RUNWAY LINGKARAN UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS RUNWAY**

Reynaldi Tejakesuma

NRP 3114100119

Dosen Pembimbing

Ir. Ervina Ahyudanari, M.E, PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



FINAL PROJECT – RC14-1501

**CIRCULAR RUNWAY DESIGN FOR IMPROVEMENT
OF RUNWAY CAPACITY**

Reynaldi Tejakesuma

NRP 3114100119

Academic Advisor

Ir. Ervina Ahyudanari, M.E, PhD.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING

Faculty Of Civil Engineering, Environment And Earth Science

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018

**PERENCANAAN RUNWAY LINGKARAN UNTUK
MENINGKATKAN KAPASITAS RUNWAY**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Reguler Departemen Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

REYNALDI TEJAKESUMA

NRP. 3114100119

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :



Ir. Ervina Ahyudanari, M.E, PhD.....(Pembimbing)



SURABAYA

JANUARI, 2018

PERENCANAAN RUNWAY LINGKARAN UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS RUNWAY

Nama Mahasiswa : Reynaldi Tejakesuma
NRP : 3114100119
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Ervina Ahyudanari, M.E, PhD.
NIP : 196902241995122001

Abstrak

Runway adalah landasan pacu pesawat terbang untuk mendarat (Landing) maupun untuk terbang (Takeoff). Runway merupakan komponen utama dalam sebuah bandara, maka diperlukan perencanaan runway yang baik. Runway di Bandara Juanda menggunakan sistem konvensional dimana runway berbentuk persegi panjang.

Pada tugas akhir ini penulis merencanakan runway dengan model runway melingkar. Runway melingkar adalah desain runway baru yang radikal dengan berbentuk lingkaran. Dengan runway melingkar operator bandara dapat mengoperasikan runway kemanapun arah anginnya dan untuk segala macam tipe pesawat. Bandara dengan circular runway memiliki footprint yang lebih kecil dibanding bandara dengan runway konvensional.

Dengan adanya runway melingkar diharapkan dapat meningkatkan kapasitas runway dibandingkan dengan kapasitas runway konvensional. Runway melingkar juga dapat membuat bandara terus beroperasi tanpa adanya gangguan dari crosswind.

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa runway memiliki keliling sepanjang 9864 m. Panjang ARFL yang didapat untuk runway melingkar dengan pesawat Boeing 747-400 sebagai acuannya adalah 3795 m. Lebar runway melingkar ditentukan selebar 140 m. Kemiringan runway dimulai dari sudut 0° lalu naik secara bertahap sampai 20° . Sedangkan Gaya yang dirasakan oleh pesawat saat mendarat di runway melingkar adalah sebesar 0.43 g. Kapasitas runway konvensional Juanda adalah sebesar 32 operasi per jam. Dimana kapasitas runway melingkar adalah sebesar 64 operasi per jam, kapasitas tersebut dapat meningkat tergantung dengan tipe pesawat yang dilayani.

Kata kunci : Runway Melingkar, Crosswind, Kapasitas Runway

CIRCULAR RUNWAY DESIGN FOR IMPROVEMENT OF RUNWAY CAPACITY

Student Name : Reynaldi Tejakesuma
NRP : 3114100119
Departement : Teknik Sipil FTSLK - ITS
Academic Advisor : Ir. Ervina Ahyudanari, M.E, PhD.
NIP : 196902241995122001

Abstract

Runway is the space for aircraft to land (Landing) and to fly (Takeoff). Runway is a major component in an airport, so it is necessary planning a good runway. Runway at Juanda Airport uses a conventional system where the runway is rectangular shaped.

In this final assignment the authors planned the runway with circular runway model. The circular runway is a radical new runway design with a circular shape. With a circular runway the airport operator can operate the runway wherever the wind direction is and for all types of aircraft. Airports with circular runways have a smaller footprint than airports with conventional runways.

With the circular runway it is expected to increase the runway capacity compared to conventional runway capacity. The circular runway can also make the airport continue to operate without any interference from crosswind.

From the calculation results it is found that the runway has a circumference length of 9864 m. The ARFL length obtained for circular runways with Boeing 747-400 as its reference is 3795 m. The width of the circular runway is determined as wide as 140 m. The slope of the runway starts from an angle of 0° and then rises gradually to 20° . While the force felt by the plane when landing on a circular runway is 0.43 g. Juanda's conventional runway capacity is 32 operations per hour. Where the circular runway capacity is 64 operations per hour, the capacity can increase depending on the type of aircraft being serviced.

Keywords : Circular Runway, Crosswind, Runway Capacity

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.

Proposal Tugas Akhir ini berjudul “Perencanaan Circular Runway Untuk Meningkatkan Kapasitas Runway” Dalam Proposal Tugas Akhir ini secara garis besar membahas tentang perencanaan runway melinkar di Bandara Juanda Surabaya

Pada akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Ir. Ervina Ahyudanari, M.E, PhD. selaku dosen konsultasi Proposal Tugas Akhir dan dosen mata kuliah Teknik Penulisan Ilmiah.
2. Ibu Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc, Ph.D. selaku dosen mata kuliah Teknik Penulisan Ilmiah.
3. Bapak Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. Selaku Dosen Wali.
4. Bapak Trijoko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS
5. Bapak dan Ibu dosen serta staf pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS.
6. Rekan – rekan mahasiswa serta semua pihak yang telah membantu penyusunan Proposal Tugas akhir ini.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya menyadari bahwa masih ada kekurangan. Maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, Desember 2017

Reynaldi Tejakesuma

DAFTAR ISI

Abstrak	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Analisa Windrose	5
2.2 Peraturan Separasi Minimal	6
2.3 Penentuan Panjang Runway	12
2.4 Perencanaan Geometrik Runway	15
2.4.1. Perencanaan Alinemen Horizontal	15
2.4.2 Gaya Sentrifugal Yang Terjadi pada Pesawat	15
2.4.3. Kemiringan Runway	18

2.5 Perumusan Matematis Kapasitas Runway Maksimum	19
2.5.1 Perumusan Untuk Kedatangan Saja	19
2.5.2 Perumusan Untuk Keberangkatan Saja	29
2.5.3 Perumusan Untuk Operasi Campuran	29
BAB 3.....	35
METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Studi Literatur	35
3.2 Pengumpulan Data	35
3.3 Perencanaan Circular Runway	36
3.3.1 Analisis Windrose	37
3.3.2 Evaluasi Besaran Crosswind tiap 10° runway.....	37
3.3.3 Menentukan Lokasi Touchdown	38
3.3.4 Penentuan Jumlah Titik Touchdown.....	39
3.3.5 Perhitungan Panjang Takeoff	39
3.3.6 Menghitung Kapasitas Runway.....	39
3.4 Kesimpulan Saran	39
3.5 Diagram Alir	40
BAB 4.....	43
PERENCANAAN RUNWAY	43
4.1 Panjang Runway Melingkar	43
4.2 Kebutuhan Panjang Runway	44
4.2.1 Koreksi Elevasi	45
4.2.2 Koreksi Temperatur.....	45

4.2.3 Kemiringan Landasan	46
4.3 Lebar Runway	48
4.4 Kemiringan Runway	48
4.5 Analisa Angin.....	49
4.6 Penomoran Landasan Pacu.....	55
4.7 Analisa Gaya.....	57
BAB 5.....	63
EVALUASI KINERJA RUNWAY MELINGKAR	63
5.1 Perhitungan Kapasitas Runway Eksisting.....	63
5.1.1 Kedatangan Saja.....	68
5.1.2 Keberangkatan Saja.....	73
5.1.3 Operasi Campuran.....	74
5.2. Kapasitas Runway Melingkar	77
BAB 6.....	83
KESIMPULAN DAN SARAN	83
6.1 Kesimpulan	83
6.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Runway Melingkar	1
Gambar 2.1 Diagram Windrose	6
Gambar 2.2 Diagram Gaya Di Runway Melingkar.....	16
Gambar 2.3 Diagram Toleransi G-Force Manusia.....	17
Gambar 2.4 Ilustrasi Kemiringan Gradual Runway	18
Gambar 2.5 Ilustrasi Jarak Penyangga Di Separasi Pesawat Ketika Kesalahan Posisi Dihitung.....	15
Gambar 2.6 Time Space Diagram Operasi Campuran Tanpa Kesalahan Posisi.....	31
Gambar 3.1 Urutan Pekerjaan Analisis Windrose.....	37
Gambar 3.2 Urutan Pekerjaan Analisis Crosswind	38
Gambar 3.3 Ilustrasi Arah Datang Crosswind 10°	38
Gambar 3.4 Diagram Alir.....	40
Gambar 4.1 Dimensi Runway Melingkar.....	43
Gambar 4.2 Windrose Bandara Juanda	54
Gambar 4.3 Sistem Penomoran Runway Konvensional	55
Gambar 4.4 Sistem Penomoran Runway melingkar	56
Gambar 4.5 Diagram Gaya di Runway melingkar	58
Gambar 4.6 Diagram Toleransi G-Force Manusia.....	62
Gambar 5.1 Segmen yang Tidak Dapat Digunakan	79
Gambar 5.2 Segmen Runway Melingkar	80
Gambar 5.3 Arah Operasi Runway Melingkar.....	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Aerodome Reference Code (Kode Angka) Horonjeff (1998).....	14
Tabel 1.2 Aerodome Reference Code (Kode Huruf) Horonjeff (1998).....	14
Tabel 4.1 Klasifikasi Landasan Pacu Berdasarkan ICAO.....	44
Tabel 4.2 Aerodome Reference Code (Kode Angka) Horonjeff (1998).....	47
Tabel 4.3 Aerodome Reference Code (Kode Huruf) Horonjeff (1998).....	47
Tabel 4.4 Contoh Data Angin Untuk 1 Hari, yaitu Pada Tanggal 1 Januari 2016. Data Ini Adalah Bagian Dari Data Sejumlah 1 Bulan yang Menjadi Data Entri Untuk Program WRPLOT	49
Tabel 4.5 Hasil Analisa Angin WRPLOT	51
Tabel 4.6 Contoh Penomoran Runway melingkar	57
Tabel 5.1 Pergerakan Pesawat di Runway Pada 13 Desember 2016.....	63
Tabel 5.2 Kategori Pesawat Berdasarkan Kecepatan Menurut FAA.....	65
Tabel 5.3 Campuran Pesawat dan Karakteristiknya.....	65
Tabel 5.5 Jadwal Kedatangan Pesawat Pada 13 Desember 2016.....	66
Tabel 5.6 Jadwal Keberangkatan Pesawat Pada 13 Desember 2016.....	67
Tabel 5.7 Hasil Analisa Crosswind Windrose Pro 3	77

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandar udara atau pelabuhan udara adalah merupakan sebuah fasilitas tempat pesawat terbang dapat lepas landas dan mendarat. Sedangkan Bandar udara yang paling sederhana minimal memiliki sebuah landas pacu namun bandara-bandara besar biasanya dilengkapi berbagai fasilitas lain, baik untuk operator layanan penerbangan maupun bagi penggunaanya. Menurut ICAO (International Civil Aviation Organization) Bandar udara adalah area tertentu di daratan atau perairan (termasuk bangunan, instalasi dan peralatan) yang diperuntukkan baik secara keseluruhan atau sebagian untuk kedatangan, keberangkatan dan pergerakan pesawat.



Gambar 1.1 Ilustrasi Runway Melingkar

Mayoritas bandara memiliki runway konvensional yang berupa landasan pacu berbentuk persegi panjang. Tetapi penggunaan runway konvensional memiliki beberapa

permasalahan seperti crosswind. Lepas landas dan Mendarat di runway konvensional sangat dipengaruhi oleh crosswind, jika kondisi angin tidak kondusif maka otoritas bandara harus menutup runway tertentu dan mengarahkan ulang lalu lintas udara, hal ini dapat menyebabkan gangguan dalam operasional bandara dan menyebabkan penundaan (delay) pada penerbangan. Hal ini tentu saja dapat menimbulkan permasalahan di bandara yang memiliki aktivitas yang sangat padat.

Menurut Penelitian Netherlands Aerospace Center Belanda (Henk Hesselink, 2014) Penggunaan runway melingkar secara teoritis mampu membuat pesawat lepas landas dan mendarat di arah yang paling menguntungkan tanpa terpengaruh oleh crosswind. Runway melingkar memungkinkan pesawat untuk selalu memiliki headwind saat lepas landas dan mendarat. Keuntungan lainnya adalah lebih dari satu pesawat dapat menggunakan runway secara bersamaan. Hal tersebut dapat meningkatkan volume lalu lintas udara dan meningkatkan efisiensi waktu. Karena runway melingkar adalah suatu terobosan baru maka diperlukan penelitian apakah runway melingkar dapat dilaksanakan atau tidak.

Dalam perencanaan ini akan diketahui apakah runway melingkar dapat dioperasikan di segmen yang memiliki arah angin dominan. Juga akan didapat jumlah pesawat yang dapat bekerja secara bersamaan apabila crosswind tak berpengaruh. Sebagai studi kasus digunakan data Bandara Juanda yang memiliki arah angin dominan Barat ke Timur.

1.2 Perumusan Masalah

Secara umum, dari latar belakang di atas terdapat beberapa masalah yang harus dibahas:

1. Berapa besar dan arah crosswind di runway lingkaran?
2. Ada berapa titik touchdown yang memungkinkan untuk dilakukan di runway melingkar?
3. Apakah runway melingkar memenuhi standar kenyamanan dan keamanan bagi penumpang?
4. Berapa kapasitas runway lingkaran dibanding dengan runway konvensional?

1.3 Tujuan

Tujuan perencanaan adalah untuk mengetahui kemungkinan penerapan runway melingkar untuk meningkatkan kapasitas penerbangan dan dapat mengetahui efek crosswind terhadap pergerakan pesawat serta membandingkan kapasitas runway konvensional dengan circular runway.

1.4 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini, permasalahan dibatasi pada pokok-pokok pembahasan sebagai berikut:

1. Masalah yang ditinjau hanya perencanaan runway (kemiringan runway, radius dan panjang runway dan separasi minimal)
2. Data menggunakan data dari FAA dan flightstats.
3. Tidak merencanakan fasilitas sisi darat (Land Side) Bandara Juanda.
4. Tidak memperhitungkan perkerasan runway.
5. Tidak memperhitungkan biaya yang diperlukan untuk membangun runway

1.5 Manfaat

Manfaat perencanaan ini adalah untuk mengetahui kemungkinan penerapan runway melingkar untuk meningkatkan kapasitas penerbangan dan dapat mengetahui efek crosswind terhadap pergerakan pesawat. Hasil yang didapat akan menambah pemahaman perencanaan runway melingkar dan juga dapat dijadikan sumbangan ilmu pengetahuan khususnya dibidang Teknik sipil

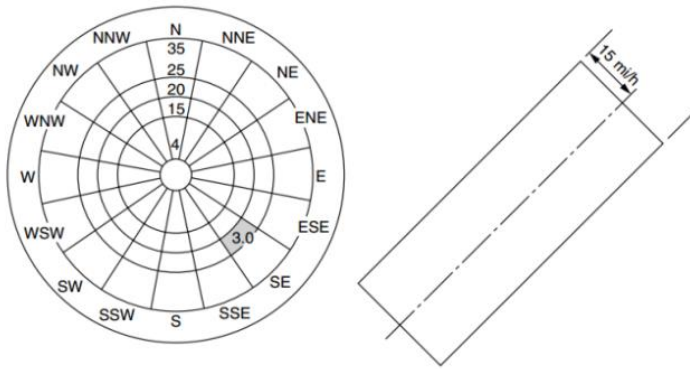
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisa Windrose

Hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan dan perencanaan bandara adalah penentuan arah landasan pacu yang paling memungkinkan di lokasi rencana pembangunan berdasarkan hasil analisis arah serta kecepatan angin. Besar kecilnya kecepatan angin dominan akan mempengaruhi penetapan jenis pesawat yang dapat beroperasi. Data arah dan kecepatan angin dapat diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat. Analisa arah angin (windrose analysis) sangat penting untuk menentukan arah landasan pacu.

Berdasarkan rekomendasi ICAO, arah landasan pacu sebuah bandara harus diupayakan sedapat mungkin harus searah dengan arah angin yang dominan. Saat pesawat lepas landas atau mendarat, pesawat mampu melakukan pergerakan di atas landasan pacu sepanjang komponen angin yang berhembus tegak lurus saat pesawat bergerak (crosswind). ICAO dan FAA menyatakan bahwa besaran crosswind maksimum yang diperbolehkan bergantung pada jenis dan ukuran pesawat yang beroperasi., susunan sayap dan kondisi permukaan landasan pacu. Besarnya batas kecepatan komponen angin silang (crosswind) yang diijinkan adalah 10 knot untuk bandar udara dengan panjang landas pacu kurang dari 1200 m, sebesar 13 knot untuk bandara dengan panjang landas pacu 1200 – 1500 m, dan kecepatan angin silang 20 knot diijinkan untuk bandara dengan panjang landas pacu lebih dari atau sama dengan 1500 m.



Gambar 2.1 Diagram Windrose

2.2 Peraturan Separasi Minimal

Dalam menjalankan tugas pemanduan lalu lintas udara, terdapat berbagai prosedur dan peraturan. Prosedur dan peraturan tersebut telah ditentukan dalam bentuk aturan baku, baik secara internasional maupun nasional. Untuk peraturan dan prosedur internasional dikeluarkan oleh Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (International Civil Aviation Organization, ICAO) berupa buku-buku aturan (annexes) dan buku-buku petunjuk (manual) dalam bentuk baku dan anjuran.

Sesuai aturan pada Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (International Civil Aviation Organization / ICAO) Doc. 4444 ATM / 501, Chapter 5 point 5.3.2, 5.4.1.2, 5.4.2.2 dan 5.4.2.3 untuk menciptakan pelayanan lalu lintas udara yang optimal, terutama keselamatan dalam penerbangan, maka dibuatlah peraturan-peraturan atau ketentuan sebagai berikut:

Ketentuan-ketentuan cara pemisahan pesawat udara

- a) Separasi Vertikal, didapat dengan cara membedakan ketinggian (altitude, flight level) pesawat udara.
- b) Composite Separation: kombinasi antara separasi horisontal, bila dilaksanakan harus ada persetujuan regional air navigation.
- c) Separasi Horizontal, didapat dengan cara memberikan:
 - Separasi longitudinal: dengan cara menjaga jarak antara pesawat udara yang terbang pada jalur yang sama berpotongan, berlawanan arah, dinyatakan dalam unit waktu atau jarak.
 - Separasi lateral: dengan cara memberikan rute penerbangan dalam arah atau jalur yang berbeda.

Ketentuan-ketentuan jarak minimum antar pesawat udara

- a) Separasi Vertikal Minimum:
 - Besarnya separasi vertikal minimum adalah 1000 feet pada F290 atau dibawahnya dan 2000 feet jika di atas F290.
 - Pada ruang udara tertentu didasarkan atas persetujuan regional tentang navigasi udara, separasi vertikal 300 m (1000 feet) boleh diterapkan sampai pada ketinggian F410 sedangkan di atas ketinggian F410, separasinya harus 600 m (2000 feet).
- b) Separasi Lateral

Separasi Lateral adalah pemisahan jalur lintasan (track) antar pesawat udara yang menggunakan alat bantu navigasi udara untuk terbang di track tertentu dengan jarak minimum:

 - Separasi Lateral adalah pemisahan jalur lintasan (track) antar pesawat udara yang menggunakan alat bantu Very High Frequency Omni Range (VOR): Kedua pesawat udara sudah pada radial yang terpisah secara diverging

kurang lebih 150 dan salah satu pesawat udara kurang lebih sudah berada pada jarak 28 km (15 Nm) atau lebih dari alat bantu navigasi tersebut. udara untuk terbang di track tertentu dengan jarak minimum:

- Non Directional Beacon (NDB): Kedua pesawat udara sudah pada track ke atau dari yang terpisah secara diverging kurang lebih 300 dan salah satu pesawat udara kurang lebih sudah berada pada jarak 28 km (15 Nm) atau lebih dari alat bantu navigasi tersebut.
- Dead Reckoning (DR): Kedua pesawat udara sudah pada track yang terpisah secara diverging kurang lebih 450 dan salah satu pesawat udara kurang lebih sudah berada pada jarak 28 km (15Nm) atau lebih dari titik perpotongan track.

c) Separasi Longitudinal

Separasi Longitudinal didasarkan atas waktu, artinya pemisahan pesawat udara dengan menggunakan waktu. Hal tersebut dapat dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

- Untuk pesawat udara yang terbang pada track yang sama:
 - 15 menit.
 - 10 menit, bila ada alat bantu navigasi untuk mengetahui posisi dan kecepatannya.
 - 5 menit, diberikan kepada pesawat udara yang berangkat di bandara yang sama atau antara dan pesawat udara en-route dimana pesawat udara yang di depan lebih cepat 20 knots atau lebih.
 - 3 menit, dalam kasus yang dengan point di atas tetapi pesawat udara yang di depan mempunyai kecepatan 40 knot atau lebih.
- Untuk pesawat udara yang climbing atau descending:
 - 15 menit, pada saat terjadi perpotongan ketinggian.

- 10 menit, pada saat terjadi perpotongan ketinggian dan ada alat bantu navigasi.
- 5 menit, pada saat terjadi perpotongan ketinggian, perubahan ketinggian dimulai dalam 10 menit dari waktu pesawat udara kedua melaporkan posisinya.
- Untuk pesawat udara yang berpotongan track (arah terbang)
 - 15 menit, pada saat terjadi perpotongan ketinggian.
 - 10 menit, apabila ada alat bantu navigasi yang memungkinkan untuk mengetahui posisi dan kecepatannya.
- d) Minimum separasi longitudinal yang didasarkan pada jarak dengan menggunakan DME:
 - Untuk pesawat udara pada ketinggian terbang yang sama dan track yang sama:
 - 37 km (20 Nm), dilaksanakan jika pesawat udara menggunakan DME stasiun dan pemisahan dicek dengan pembacaan DME.
 - 19 km (10 Nm), pesawat udara yang di depan lebih cepat 20 knots, pada track DME, dapat dicek posisi pada saat bersamaan.
 - Untuk pesawat udara pada ketinggian yang sama dan tracknya berpotongan:
 Sama dengan ketentuan di atas dengan tambahan setiap pesawat udara dapat diketahui jaraknya dari titik perpotongan.
 - Untuk pesawat udara yang climbing atau descending pada track yang sama:
 19 km (10 Nm) pada saat terjadi perpotongan ketinggian, setiap pesawat udara pada track DME, salah satu pesawat udara tetap pada ketinggiannya, pemisahan dapat dicek dengan pembacaan DME secara bersamaan.

e) Minimum Separasi Radar

Kondisi dunia penerbangan saat ini mengalami perkembangan, yang ditandai dengan bertambahnya perusahaan penerbangan dan armadanya. Hal ini berakibat pada bertambahnya jumlah pergerakan pesawat udara yang mengakibatkan kepadatan lalu lintas udara.

Menurut Drs. Aminarno Budi Pradana SSiT.MM dalam buku peraturan dan pelayanan lalu lintas udara (2000:18-19), menyebutkan bahwa, kepadatan lalu lintas udara terjadi disebabkan karena jumlah lalu lintas udara meningkat atau kapasitas sistem pemanduan lalu lintas udara menurun. Hal ini dapat menimbulkan ketidaklancaran dan ketidakefisienan arus lalu lintas udara.

Menurut Aminarno (2000) Untuk itu harus dilakukan usaha penyelesaian yaitu, dengan upaya meningkatkan kapasitas sistem pemanduan lalu lintas udara. Salah satunya adalah dengan melakukan pemasangan peralatan radar, sehingga dalam pelayanan lalu lintas udara menggunakan prosedur radar.

Minimum Separasi Radar Menurut Doc 4444 ATM / 501 Chapter 8 point 8.7.4.1 dan 8.7.4.2 adalah sebagai berikut:

- Separasi Horizontal: 9,3 km (5 Nm)
 Separasi di atas dapat diterapkan oleh penyelenggara bandar udara dan bisa dikurangi tetapi tidak boleh kurang dari:
 - 5,6 km (3,0 Nm) apabila kemampuan peralatan radar memenuhi syarat dan dapat memberikan lokasi yang diijinkan (tidak terhalang obstacle).
 - 4,6 km (2,5 Nm) antar pesawat udara yang di depan dan yang di belakang, keduanya telah berada pada final approach track yang sama dalam 1,8 km (10 Nm) dari end of runway, pengurangan separasi

minimum 4,6 km (2,5 Nm) boleh dilakukan dengan ketentuan:

- Pesawat udara yang mendarat dapat keluar dari runway dengan waktu tidak boleh lebih dari 5 detik.
- Sistem pemberhentian dilaporkan dalam keadaan baik dan runway occupancy times tidak dirugikan oleh pengaruh salju yang menumpuk, salju atau es.
- Sistem radar dilengkapi dengan azimuth dan resolusi jarak, yang secara otomatis diperbaharui dalam tempo setiap 5 detik atau kurang dari itu, dan menggunakan display yang sesuai.
- ATC Aerodrome dilengkapi dengan surface movement radar (SMR) atau surface movement guidance and control system (SMGCS) untuk mengamati secara visual yang terletak pada runway yang digunakan dan pada keluar dan masuknya taxiways.
- Approach speed harus tetap dijaga dan dimonitor oleh pemandu lalu lintas penerbangan, dan ketika dibutuhkan penyesuaian, maka harus diyakinkan atau dijamin dengan separasi dan tidak boleh dikurangi dibawah minimum separasi.
- Operator pesawat udara dan pilot, harus benar-benar menyadari pentingnya pengosongan runway secepatnya setelah mendarat, jika penggunaan minimum separasi di final approach diaplikasikan.
- Peranan saparasi minimum wake turbulence adalah fleksible, tidak harus sesuai standar prosedur, tetapi boleh sesuai dengan local prosedur yang diterapkan sesuai dengan tipe pesawat udara.
- Prosedur yang digunakan pada pengaplikasian pengurangan dalam minimum saparasi harus dipublikasikan dalam AIPs.

2.3 Penentuan Panjang Runway

Penentuan panjang aktual dilakukan dengan mengoreksi panjang ARFL. ARFL adalah panjang landasan minimum bagi pesawat untuk take off pada keadaan standar yaitu pada keadaan beban lepas landas maksimum atau Maximum Take Off Weight / MTOW, ketinggian/ elevasi bandara nol (0) terhadap permukaan air laut, kondisi atmosfer standar, keadaan tanpa angin, dan kemiringan landasan pacu nol (0). ARFL tersebut dikoreksi terhadap elevasi landasan pacu, temperatur dan kemiringan memanjang landas pacu. Berikut ini adalah uraian perhitungan panjang landasan pacu dimaksud.:

a) Temperatur

$$F_t = 1 + \left[0.01 * \left(T - (15 - (0.0065 * h)) \right) \right] \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana, F_t = Faktor Koreksi temperatur

T = Aerodrome reference temperature ($^{\circ}\text{C}$)

h = Ketinggian (m)

b) Ketinggian

Rekomendasi dari ICAO, menyatakan bahwa harga ARFL bertambah sebesar 7 % setiap kenaikan 300 m (1.000 ft) dihitung dari ketinggian muka air laut, dengan perhitungan:

$$F_e = 1 + \left[0.007 * \left(\frac{h}{300} \right) \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana, F_e = Faktor Koreksi elevasi

h = Ketinggian (m)

c) Kemiringan Landasan

Kemiringan keatas memerlukan landasan yang lebih panjang jika dibanding terhadap landasan yang datar atau yang menurun. Kriteria perencanaan lapangan terbang membatasi kemiringan landasan sebesar 1,5 %. Faktor koreksi kemiringan (F_s) sebesar 10 % setiap kemiringan 1 %, berlaku untuk kondisi lepas landas.

$$F_s = 1 + (0.1 * S) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana, F_s = Faktor Koreksi kemiringan

S = Kemiringan Landasan (%)

d) Kondisi Permukaan Landas Pacu

Di permukaan landas pacu terdapat genangan tipis air (standing water) sangat dihindari karena membahayakan operasi pesawat. Standing water menghasilkan permukaan yang sangat licin bagi roda pesawat membuat daya pengereman sangat jelek. Itulah sebabnya drainase lapangan terbang harus baik untuk membuang air permukaan landasan. Bila landas pacu permukaan yang basah atau licin, panjang landasan harus ditambah dengan 4,5 % sampai 9,5 %, sebagaimana tercantum dalam FAA AC 150/5325-4.

e) Menghitung ARFL

ARFL (Aeroplane Reference Field Length) menurut ICAO adalah landas pacu minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas, pada maximum sertifikasi take off weight, elevasi muka air laut, kondisi standart atmosfer, keadaan tanpa ada angin bertiup, dan landas pacu tanpa kemiringan. Setiap pesawat mempunyai ARFL berlainan yang dikeluarkan pabrik pembuatnya. Untuk mengetahui panjang landas pacu bila pesawat take off di ARFL, dipergunakan rumus :

$$ARFL = \frac{\text{Panjang Landasan Pacu Rencana}}{F_e * F_t * F_s} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana, F_s = Faktor Koreksi kemiringan

F_t = Faktor Koreksi temperature

F_e = Faktor Koreksi elevasi

f) Aerodrome Reference Code

Reference code dipakai oleh ICAO, untuk mempermudah membaca antar beberapa spesifikasi pesawat, dengan berbagai karakteristik fisik lapangan terbang. Code bisa dibaca untuk elemen yang berhubungan dengan karakteristik kemampuan pesawat terbang dan ukuran-ukuran pesawat terbang.

Klasifikasi landasan pacu didasarkan pada amandemen ke-36 ICAO hasil konferensi ke IX yang mulai efektif berlaku sejak 23 Maret 1983 (ICAO, 1990), maka dibuat tabel Aerodrome Reference Code untuk menentukan kelas landasan pacu seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut :

Tabel 1.1 *Aerodome Reference Code* (Kode Angka)
Horonjeff (1998)

Kode Angka	Aerodrome Reference Field Length (ARFL)
1	< 800 m
2	800 - 1200 m
3	1200 - 1800 m
4	> 1800 m

Tabel 1.2 *Aerodome Reference Code* (Kode Huruf)
Horonjeff (1998)

Kode Huruf	Lebar Sayap (Wing Span)	Jarak Terluar Roda Pendaratan (Outer Main Gear Wheel Span)
A	4.5 - 15 m	< 4.5 m
B	15 - 24 m	4.5 - 6 m
C	24 - 36 m	6 - 9 m
D	36 - 52 m	9 - 14 m
E	52 - 60 m	9 - 14 m

2.4 Perencanaan Geometrik Runway

2.4.1. Perencanaan Alinemen Horizontal

Pengertian alinemen horizontal adalah suatu proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal maupun proyeksi horizontal sumbu jalan tegak lurus bidang horizontal. Penghitungan alinemen horizontal perlu dilakukan karena geometri runway berbentuk lingkaran sehingga diperlukan panjang keliling lingkaran untuk merencanakan runway. Digunakan rumus berikut untuk menghitung Panjang keliling runway :

$$Lc = \frac{\Delta}{360^\circ} * 2\pi * Rc \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana

Lc : Panjang keliling

Δ : Sudut defleksi

Rc : Jari-jari rencana runway

2.4.2 Gaya Sentrifugal Yang Terjadi pada Pesawat

Dalam perencanaan runway melingkar, runway dibuat miring kedalam. Hal tersebut dinamakan superelevasi yang berfungsi melawan gaya sentrifugal agar pesawat tetap bisa berjalan normal tanpa terpelantai. Berikut adalah gaya yang terjadi pada pesawat di runway melingkar :

$$\begin{aligned} N \cos \theta &= mg + f \sin \theta \\ N \cos \theta - \mu N \sin \theta &= mg \\ N(\cos \theta - \mu \sin \theta) &= mg \\ N &= \frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta} \dots\dots\dots(2.6) \end{aligned}$$

$$F_{net} = N \sin \theta + f \cos \theta = N \sin \theta + \mu N \cos \theta$$

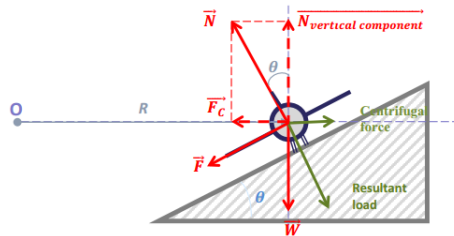
$$F_{net} = N(\sin \theta + \mu \cos \theta) = \left(\frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta} \right) (\sin \theta + \mu \cos \theta)$$

$$F_{net} = \frac{\sin \theta + \mu \cos \theta}{\cos \theta - \mu \sin \theta} mg = \frac{\tan \theta + \mu}{1 - \mu \tan \theta} mg \dots \dots \dots (2.7)$$

$$F_{net} = F_{centrifugal}$$

$$\frac{\tan \theta + \mu}{1 - \mu \tan \theta} mg = \frac{mv^2}{r}$$

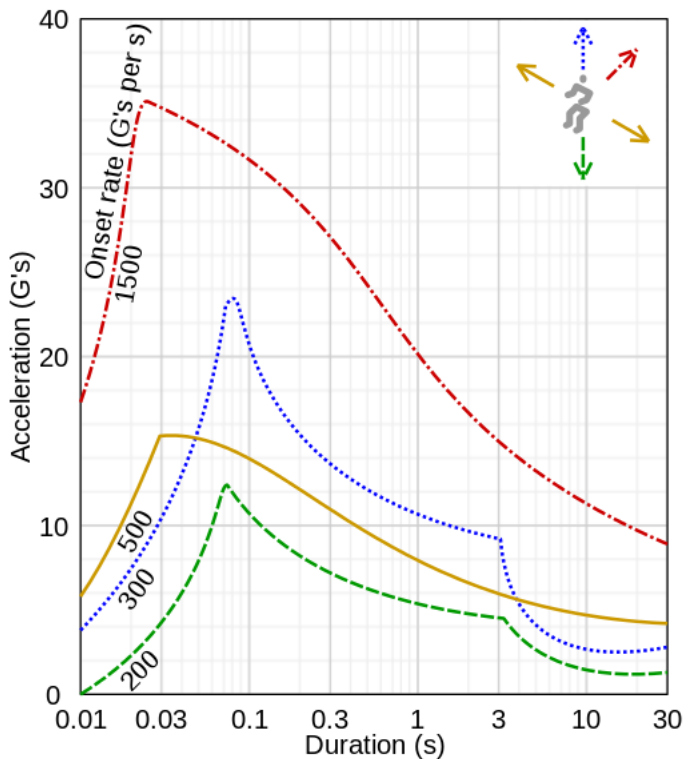
$$\frac{\tan \theta + \mu}{1 - \mu \tan \theta} g = \frac{v^2}{r} \dots \dots \dots (2.8)$$



Gambar 2.2 Diagram Gaya Di Runway Melingkar

Dimana :

- m = Massa pesawat
 g = Gaya gravitasi bumi (9.81 m/s^2)
 μ = Koefisien gesekan aspal (0.4)



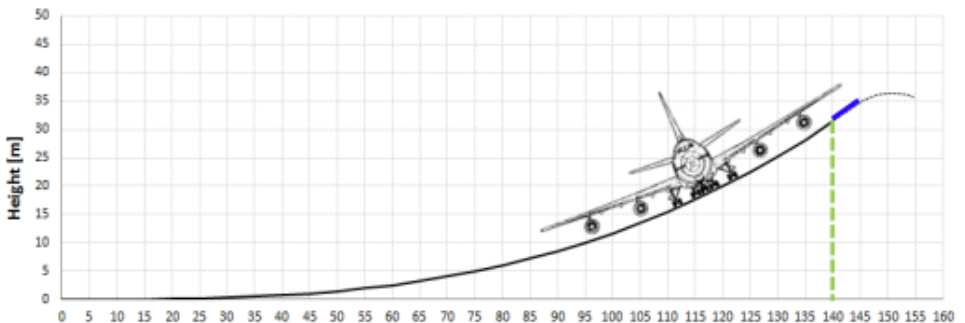
Gambar 2.3 Diagram Toleransi G-Force Manusia

(Sumber : NASA, 1992)

Diperlukan perhitungan gaya untuk mengetahui apakah runway melingkar layak untuk dilaksanakan. Sebab manusia memiliki batasan dimana tubuh dapat menanggung g force. G force yang terlalu besar dapat menyebabkan kehilangan kesadaran bahkan kematian.

2.4.3. Kemiringan Runway

Runway melingkar memiliki kemiringan. Dimulai dari bagian dalam lingkaran yang memiliki permukaan rata kemiringan akan bertambah secara bertahap menuju ke bagian luar lingkaran. Karena gaya sentrifugal pesawat akan memulai dari bagian tengah runway dan bergerak ke bagian luar runway sampai lepas landas. Kemiringan dimulai dari sudut 0° sampai 20° . Penelitian membuktikan bahwa runway harus memiliki lebar 140 meter untuk memenuhi standar keamanan serta untuk membatasi akselerasi lateral yang dialami oleh penumpang.



Gambar 2.4 Ilustrasi Kemiringan Gradual Runway. Absis X Adalah Lebar Runway Sedangkan Absis Y Adalah Ketinggian Miring Runway

(Sumber : Endless Runway, 2014)

2.5 Perumusan Matematis Kapasitas Runway Maksimum

Perumusan ini adalah untuk menentukan jumlah operasi pesawat terbang maksimum yang dapat ditampung oleh suatu sistem runway dalam jangka waktu tertentu. Dalam perumusan ini kapasitas adalah sama dengan kebalikan waktu pelayanan rata-rata terboboti dari seluruh pesawat terbang yang dilayani

2.5.1 Perumusan Untuk Kedatangan Saja

Kapasitas suatu runway yang digunakan hanya untuk melayani pesawat yang datang dipengaruhi oleh :

1. Campuran pesawat terbang yang digolongkan dalam beberapa kelas menurut kecepatan pendekatan pesawat terhadap runway (approach speed).
2. Panjang jalur pendekatan ke landasan dari jalur masuk atau gerbang ILS ke ambang runway.
3. Aturan jarak separasi minimum lalu lintas udara atau jarak pisah yang diamati secara praktis apabila tidak ada peraturan.
4. Besarnya kesalahan dalam waktu kedatangan di gerbang dan kesalahan kecepatan pada jalur pendekatan umum ke runway.
5. Probabilitas dari pelanggaran terhadap jarak pisah lalu lintas udara minimum yang dapat diterima.
6. Waktu pemakaian runway rata-rata (*runway occupancy time*) dari berbagai kelas pesawat dalam campuran dan besarnya penyebaran dalam waktu rata-rata tersebut.

2.5.1.1 Keadaan Bebas Kesalahan (error free case)

Dalam keadaan ini pesawat bisa menjaga jarak minimum yang disyaratkan terhadap pesawat lain. Pesawat dikelompokkan ke dalam beberapa kelas kecepatan yang berbeda menjadi V_i , V_j dan seterusnya. Untuk mendapatkan waktu pelayan terboboti untuk kedatangan perlu untuk

dirumuskan matriks selang waktu di antara kedatangan pesawat diambang runway. Dengan memperoleh matriks ini dan presentase berbagai kelas dalam campuran pesawat, waktu pelayanan terboboti dapat dihitung. Dimisalkan matriks bebas kesalahan adalah $[M_{ij}]$, selang waktu minimum di ambang runway untuk pesawat terbang dengan kelas kecepatan i yang diikuti pesawat dengan kelas kecepatan j , dan misalkan presentase pesawat kelas i dalam campuran adalah p_i , dan pesawat kelas j adalah p_j , maka perhitungannya dapat dilihat pada persamaan di bawah

Rumus :

$$T_j - T_i = [T_{ij}] = [M_{ij}] \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana

T_i = Waktu dimana pesawat i yang berada di depan melewati ambang runway.

T_j = Waktu dimana pesawat j yang berada di belakang melewati ambang runway.

$[T_{ij}]$ = Matriks pemisahan waktu sebenarnya di ambang runway untuk dua kedatangan yang berurutan, pesawat dengan kelas kecepatan i diikuti oleh pesawat dengan kelas kecepatan j .

Rumus :

$$E[T_{ij}] = \sum p_{ij} M_{ij} = \sum p_{ij} T_{ij} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$C = \frac{1}{E(T_{ij})} (3600) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana

$E[T_{ij}]$ = Waktu pelayanan rata-rata (mean), atau waktu antarkedatangan di ambang runway untuk campuran pesawat.

p_{ij} = Probabilitas pesawat yang di depan i, akan diikuti oleh pesawat dibelakangnya j.

C = Kapasitas Runway.

2.5.1.1.1 Keadaan Merapat ($V_i \leq V_j$)

Keadaan dimana kecepatan mendekati landasan dari pesawat di depan lebih kecil dari yang berada di belakangnya. Pemisahan waktu minimum di ambang runway dapat dinyatakan dalam jarak δ_{ij} dan kecepatan dari pesawat yang ada di belakang V_j . Apabila waktu pemakaian runway dari kedatangan R_i lebih besar dari pemisahan di udara, maka akan menjadi pemisahan minimum di ambang landasan. Berikut adalah persamaan untuk keadaan rapat

Rumus :

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana

δ_{ij} = Panjang jalur pendekatan ke runway.

γ = Jarak pisah minimum yang diperbolehkan di antara dua pesawat yang datang dimana pesawat i berada di depan dan pesawat j berada di belakang, di sembarang tempat sepanjang jalur pendekatan pesawat.

V_i = Kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di depan dari kelas i.

V_j = Kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j.

R_i = Waktu pemakaian runway dari pesawat di depan kelas i.

2.5.1.1.2 Keadaan Merenggang ($V_i > V_j$)

Untuk keadaan dimana kecepatan saat mendekati landasan dari pesawat yang berada di depan lebih besar daripada kecepatan pesawat di belakangnya, pemisahan waktu minimum di ambang landasan dapat dinyatakan dalam jarak δ_{ij} , panjang jalur pendekatan umum ke landasan γ , dan kecepatan saat mendekati landasan V_i dan V_j dari pesawat di depan dan di belakang. Hal ini bersesuaian dengan pemisahan jarak minimum δ_{ij} di sepanjang jalur pendekatan umum ke landasan, yang sekarang terjadi di jalur masuk dan bukannya di ambang landasan. Persamaan untuk keadaan ini diperlihatkan pada persamaan di bawah. Apabila pengendalian hanya dilakukan dari jalur masuk hingga ke ambang landasan, maka

Rumus :

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i} + \gamma \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

Apabila pengendalian dilakukan untuk mempertahankan pemisahan di antara kedua pesawat ketika pesawat yang berada di depan melewati jalur masuk, maka perhitungannya menjadi

Rumus :

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana

δ_{ij} = Panjang jalur pendekatan ke runway.

γ = Jarak pisah minimum yang diperbolehkan di antara dua pesawat yang datang dimana pesawat i berada di depan dan pesawat j berada di belakang, di sembarang tempat sepanjang jalur pendekatan pesawat.

V_i = Kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di depan dari kelas i.

V_j = Kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j.

R_i = Waktu pemakaian runway dari pesawat di depan kelas i.

2.5.1.1.3 Keadaan Sama Besar ($V_i = V_j$)

Keadaan dimana kecepatan pesawat di depan (leading, V_i) dan di belakang (trailing, V_j) sama besar.

$$\text{Rumus : } T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana

δ_{ij} = Panjang jalur pendekatan ke runway.

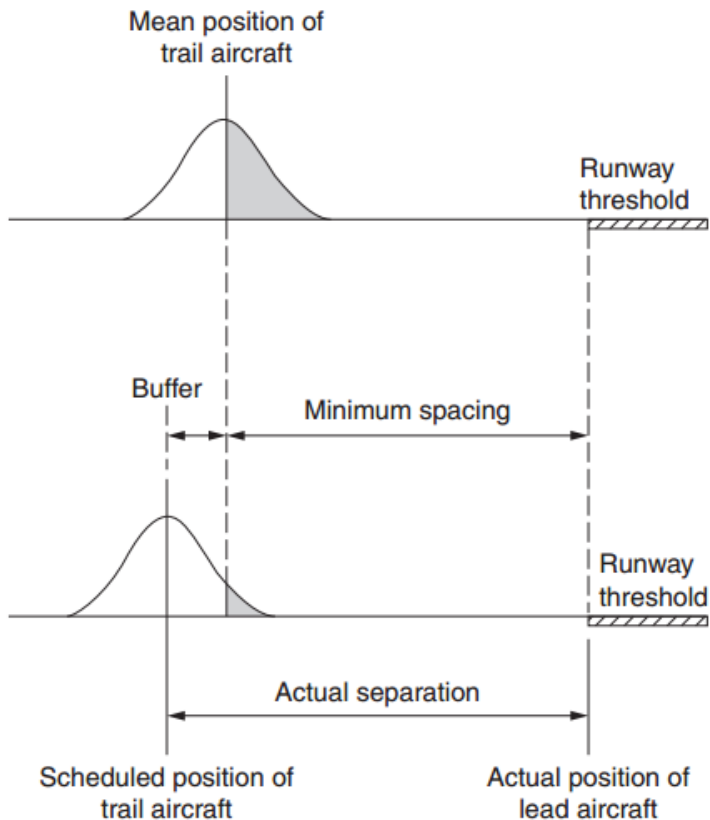
V_j = Kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat.

R_i = Waktu pemakaian runway dari pesawat di depan kelas i.

2.5.1.2 Keadaan Kesalahan Posisi

Model di atas menggambarkan situasi suatu keadaan sempurna tanpa kesalahan. Untuk memperhitungkan kesalahan, ditambahkan waktu sangga terhadap waktu separasi minimum. Lamanya waktu sangga itu tergantung pada probabilitas penyimpangan yang dapat diterima.

Gambar 2.4 memperlihatkan posisi pesawat yang berada di belakang ketika ia mendekati ambang runway. Pada bagian atas gambar itu, pesawat yang berada di belakang diatur urutannya sehingga posisi rata-ratanya ditentukan secara tepat oleh pemisahan minimum di antara pesawat yang berada di depan dan di belakang. Meskipun demikian, apabila posisi pesawat merupakan suatu peubah (variable) sembarang, terdapat probabilitas yang sama bahwa ia dapat lebih cepat atau lebih lambat dari jadwal. Apabila pesawat itu lebih cepat dari jadwal, patokan pemisahan minimum akan dilanggar.



Gambar 3.5 Ilustrasi Jarak Penyangga Di Separasi Pesawat Ketika Kesalahan Posisi Dihitung

(Sumber : Horonjeff, 2010)

Apabila kesalahan posisi itu didistribusikan secara normal, maka daerah kurva bentuk lonceng yang diarsir akan menyatakan probabilitas pelanggaran aturan separasi minimum sebesar 50 persen. Oleh karena itu, untuk

memperkecil probabilitas pelanggaran ini, pesawat harus diatur untuk sampai di posisi ini dengan membuat waktu sangga terhadap patokan pemisahan minimum. Dalam keadaan ini, hanya apabila pesawat jauh lebih cepat dari jadwal sehingga melewati daerah kurva yang lebih kecil, pelanggaran terhadap pemisahan akan terjadi. Tentu saja probabilitas terjadinya hal ini akan semakin kecil. Dalam kenyataannya, para pengendali lalu lintas udara menjadwalkan pesawat dengan memakai waktu sangga sehingga probabilitas pelanggaran terhadap aturan pemisahan minimum berada pada tingkat yang dapat diterima.

Seperti yang akan diperlihatkan dalam keadaan merapat, penyangga merupakan nilai yang tetap. Meskipun demikian, dalam keadaan merenggang, penyangga tidak harus merupakan nilai yang tetap dan pada umumnya lebih kecil dari penyangga pada keadaan merapat. Dengan mempunyai model-model untuk penyangga, dibuat matriks waktu sangga $[B_{ij}]$ untuk pesawat dengan kecepatan i yang diikuti oleh pesawat dengan kelas kecepatan j . Matriks ini ditambahkan pada matriks bebas-kesalahan untuk menentukan matriks waktu antarkedatangan sebenarnya, yang dari matriks ini kapasitas dapat ditentukan. Hubungan ini diberikan oleh persamaan di bawah.

Rumus :

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum [p_{ij}][M_{ij} + B_{ij}] \dots\dots\dots(2.16)$$

2.5.1.2.1 Keadaan Merapat ($V_i \leq V_j$)

Dalam hal ini, kecepatan mendekati landasan dari pesawat yang berada di depan lebih kecil daripada di belakang dan pemisahan. Misalkan $[T_{ij}]$ merupakan selang waktu

minimum sebenarnya di antara pesawat kelas i dan j dan dianggap bahwa pemakaian runway adalah lebih kecil dari $[T_{ij}]$. Nilai rata-rata $[T_{ij}]$ sebagai $E[T_{ij}]$ dan e_0 sebagai suatu kesalahan random yang didistribusikan secara normal rata-rata nol dengan simpangan baku σ_0 . Maka untuk setiap pasang kedatangan agar tidak melanggar patokan aturan pemisahan minimum, nilai $E[T_{ij}]$ harus ditambah dengan penyangga sebesar B_{ij} . Oleh karena itu, didapat persamaan berikut

Rumus :

$$T_{ij} = M_{ij} + B_{ij} + e_0 \dots\dots\dots(2.17)$$

Untuk keadaan ini pemisahan minimum di ambang runway diberikan oleh persamaan di bawah. Tujuannya adalah untuk mendapatkan probabilitas pelanggaran p_v tertentu, yaitu besarnya penyangga yang dibutuhkan.

$$p_v = P\left(\frac{\delta_{ij}}{V_j} + B_{ij} + e_0 < \frac{\delta_{ij}}{V_j}\right) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dianggap bahwa kesalahan itu didistribusikan secara normal dengan simpangan baku σ_0 , nilai penyangga dapat dicari dari persamaan di bawah

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana

q_v = Nilai dimana distribusi normal standar kumulatif mempunyai nilai $(1-p_v)$.

Dengan kata lain, hal ini berarti besarnya simpangan baku dari rata-rata dalam suatu prosentase tertentu di bawah kurva normal akan didapat. Sebagai contoh, apabila $p_v = 0,05$, maka q_v adalah prosentase ke-95 dari distribusi dan besarnya

= 1,65. Dalam keadaan merapat, waktu sangga adalah suatu konstanta yang bergantung pada besarnya pancaran kesalahan dan probabilitas pelanggaran p_v yang dapat diterima

2.5.1.2.2 Keadaan Merenggang ($V_i > V_j$)

Berikutnya merupakan keadaan dimana kecepatan pada saat mendekati ambang landasan dari pesawat yang berada di depan lebih besar daripada yang dibelakangnya. Dalam hal ini pemisahan di antara pesawat bertambah dari jalur masuk. Model didasarkan pada anggapan bahwa pesawat yang berada di belakang harus dijadwalkan pada jarak yang tidak kurang dari δ_{ij} mil di belakang pesawat yang berada di depan ketika yang terakhir ini berada pada jalur masuk, tetapi dianggap bahwa pemisahan yang ketat hanya dilakukan oleh pengendali lalu lintas udara ketika pesawat yang berada di belakang mencapai jalur masuk.

Untuk keadaan ini probabilitas pelanggaran hanyalah probabilitas bahwa pesawat yang berada di belakang mencapai pintu masuk. Anggapan ini juga diperlihatkan. untuk keadaan ini probabilitas pelanggaran hanyalah probabilitas bahwa pesawat yang berada di belakang akan sampai di jalur masuk sebelum pesawat yang di depan berada pada suatu jarak tertentu di sebelah dalam jalur masuk. Secara matematis hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$p_v = \text{Prob} \left[T_j - T_i < \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \left(\frac{V_j}{V_j} - \frac{V_j}{V_i} \right) \right] \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut untuk menghitung jarak sebenarnya di ambang landasan dan disederhanakan menjadi

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v - \delta_{ij} \left(\frac{v}{v_j} - \frac{v}{v_i} \right) \dots\dots\dots (2.21)$$

Oleh karena itu, untuk keadaan merenggang besarnya penyangga dikurangi dari yang dibutuhkan dalam keadaan merapat, seperti terlihat pada persamaan diatas. Nilai penyangga yang negatif tidak diperbolehkan dan oleh sebab itu, penyangga merupakan suatu nilai positif dengan minimum sama dengan nol.

2.5.2 Perumusan Untuk Keberangkatan Saja

Ketika keberangkatan dinyatakan bebas untuk lepas landas berdasarkan interval waktu minimum, atau waktu antarkeberangkatan t_d , kapasitas keberangkatan landasan pacu C_d diberikan oleh persamaan di bawah

$$C = \frac{1}{E(T_{ij})} (3600) \dots\dots\dots (2.22)$$

dan

$$E(t_d) = \sum (p_{ij})(t_d) \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana

$E(t_d)$ = Panjang jalur pendekatan ke runway.

$[p_{ij}]$ = Kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat.

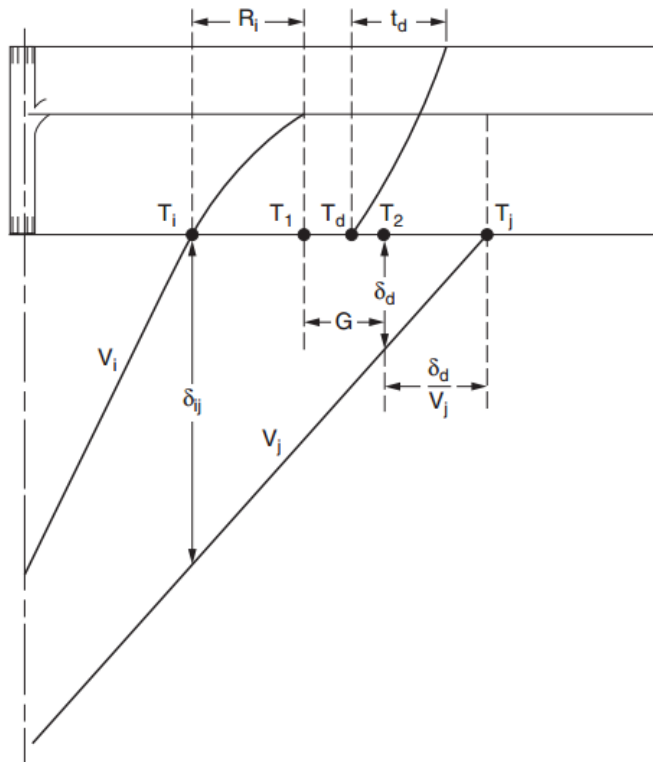
$[t_d]$ = Matriks waktu antar keberangkatan

2.5.3 Perumusan Untuk Operasi Campuran

Perumusan ini didasarkan pada empat aturan pengoperasian yang sama seperti halnya model-model yang dikembangkan oleh AIL (Airborne Instruments Laboratory). Aturan-aturan itu adalah sebagai berikut:

1. Kedatangan mempunyai prioritas daripada keberangkatan.
2. Hanya satu pesawat dapat berada di runway pada sembarang waktu.
3. Keberangkatan tidak dapat dilaksanakan apabila pesawat yang datang berikutnya berada pada jarak yang kurang dari suatu jarak tertentu dari ambang runway, biasanya 2 nmi dalam kondisi IFR.
4. Keberangkatan yang berurutan diatur sehingga pemisahan waktu minimumnya sama dengan waktu pelayanan keberangkatan.

Diagram waktu-jarak dapat digambar untuk memperlihatkan pengurutan operasi campuran menurut aturan-aturan yang disebutkan di atas. Pada gambar dibawah T_i dan T_j merupakan waktu dimana pesawat yang ada di depan (i) dan yang ada di belakang (j), melewati ambang kedatangan, δ_{ij} adalah pemisahan minimum di antara kedatangan, T_1 adalah waktu dimana pesawat yang datang meninggalkan runway, T_d adalah waktu dimana pesawat yang berangkat mulai lepas landas, δ_d adalah jarak minimum pada jarak mana pesawat yang datang harus berada (dari ambang landasan) supaya keberangkatan dapat dilakukan, T_2 adalah waktu yang menyatakan saat terakhir dimana keberangkatan dapat dilakukan, R_i adalah waktu pemakaian runway untuk suatu kedatangan, G adalah perbedaan waktu dimana keberangkatan dapat dilakukan, dan t_d adalah waktu pelayanan yang dibutuhkan untuk keberangkatan.



Gambar 4.6 Time Space Diagram Operasi Campuran Tanpa Kesalahan Posisi

(Sumber : Horonjeff, 2010)

Karena kedatangan diberikan prioritas, pesawat yang datang diurutkan dengan pemisahan minimum dan keberangkatan tidak dapat dilakukan kecuali terdapat perbedaan waktu G di antara kedatangan yang berurutan. Oleh karena itu dapat ditulis

$$G = T_2 - T_1 > 0$$

diketahui bahwa

$$T_1 = T_i + R_i$$

dan

$$T_2 = T_j - \frac{\delta_{ij}}{V_j}$$

maka dapat ditulis :

$$T_2 - T_1 > \left(T_j - \frac{\delta_d}{V_j} \right) - (T_i + R_i) > 0 \dots\dots\dots (2.24)$$

Atau untuk melakukan satu keberangkatan di antara dua kedatangan yang berurutan, didapat

$$T_j - i > R_i + \frac{\delta_d}{V_j} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dengan pengembangan sederhana persamaan ini, jelas bahwa waktu antarkedatangan rata-rata yang dibutuhkan $E[T_{ij}]$ untuk melakukan n keberangkatan di antara dua kedatangan diberikan oleh persamaan dibawah.

$$E[T_{ij}] \geq E[R_i] + E\left[\frac{\delta_d}{V_j}\right] + E(B_{ij}) + (n-1) E(t_d) \dots\dots\dots (2.26)$$

dimana :

$E[T_{ij}]$ = Waktu dimana pesawat yang ada di depan (i) dan yang ada di belakang (j), melewati ambang kedatangan

$E[R_i]$ = Waktu pemakaian runway untuk suatu kedatangan

$E[t_d]$ = Waktu pelayanan yang dibutuhkan untuk keberangkatan.

δ_d = Pemisahan minimum di antara kedatangan

V_j = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j

Harus diingat bahwa suku terakhir dalam persamaan di atas adalah nol apabila hanya satu keberangkatan yang akan disisipkan di antara dua kedatangan. Suatu faktor kesalahan σ_G q_v dapat ditambahkan pada persamaan di atas untuk memperhitungkan pelanggaran terhadap perbedaan jarak.

Kapasitas runway pada operasi campuran diberikan pada persamaan berikut:

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d p_{nd}) \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana :

C_m = Kapasitas runway untuk operasi campuran

$E[\Delta T_{ij}]$ = Nilai waktu antar kedatangan

n_d = Jumlah keberangkatan yang dapat dilakukan di antara dua Kedatangan

p_{nd} = Probabilitas jumlah keberangkatan n_d dapat dilakukan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Langkah-langkah awal yang dilakukan antara lain: mencari studi literature, pengamatan kepada komponen-komponen yang berkaitan dengan topik studi untuk mendapatkan data yang diperlukan guna menunjang perhitungan dan analisa desain.

3.1 Studi Literatur

Dalam pengerjaan Proposal Tugas Akhir ini diperlukan studi literatur untuk menunjang dan menambah pengetahuan tentang perancangan landasan pacu dengan konsep *Circular Runway*. Studi literatur didapat dari buku diktat kuliah, internet, jurnal, serta buku – buku penunjang yang berhubungan dengan penyelesaian Proposal Tugas Akhir, antara lain:

1. Referensi mengenai perencanaan runway konvensional
2. Referensi tentang karakteristik runway
3. Referensi tentang perencanaan dan perhitungan runway dengan konsep circular runway
4. Referensi tentang windrose analysis
5. Planning and Design of Airports, Fifth Edition, Robert M. Horonjeff

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam proposal Tugas Akhir ini adalah data sekunder. Data yang digunakan dalam proses perhitungan antara lain:

- Data Windrose
Data windrose yang digunakan diambil dari website FAA (Federal Aviation Administration) (<https://airports-gis.faa.gov/windRose/>)
- Data Pesawat dan Frekuensi Lalu Lintas Udara
Data tipe pesawat serta frekuensi lalu lintas di Bandara Juanda didapat dari website Flightstats (<http://www.flightstats.com/go/Home/home.do>)
- Data Karakteristik Pesawat
Data karakteristik pesawat didapat dari website pesawat yang bersangkutan (Website Airbus, Boeing, Bombardier, dll)

3.3 Perencanaan Circular Runway

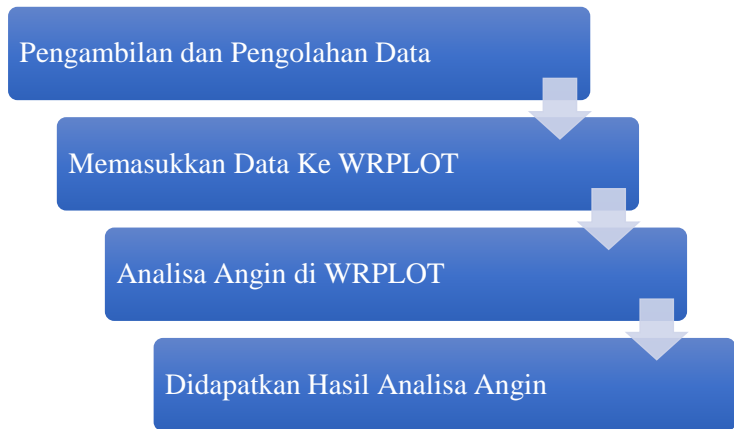
Dalam perencanaan circular runway yang feasible dan mampu menjadi runway yang sesuai standar keamanan penerbangan internasional dapat dilakukan dengan mengikuti diagram alir. Langkah - langkah tersebut antara lain :

1. Analisis Windrose
2. Evaluasi Besaran Crosswind tiap 10° runway
3. Menentukan Lokasi Touchdown
4. Penentuan Jumlah titik Touchdown
5. Perhitungan Panjang takeoff
6. Menghitung kapasitas Runway

Dalam perencanaan tugas akhir ini digunakan aplikasi WRPLOT dan WINDROSE PRO 3 untuk membantu dalam Analisa angin dan perhitungan elemen crosswind.

3.3.1 Analisis Windrose

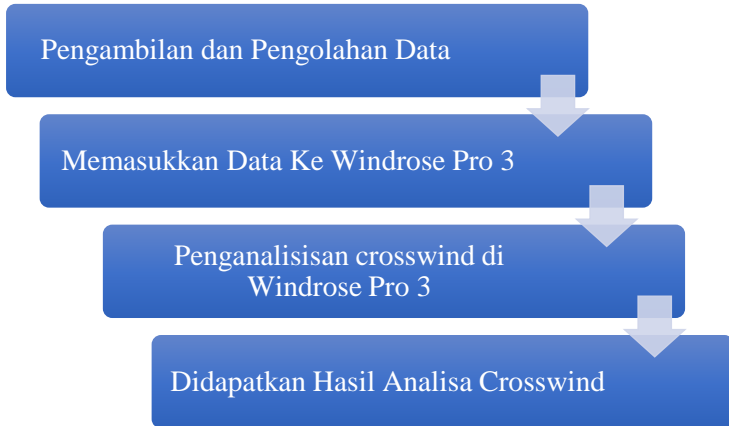
Pada tugas akhir ini analisa windrose dilakukan dengan memakai program WRPLOT. Gambar 3.1 menunjukkan urutan pengerjaan analisis windrose menggunakan WRPLOT.



Gambar 3.1 Urutan Pekerjaan Analisis Windrose

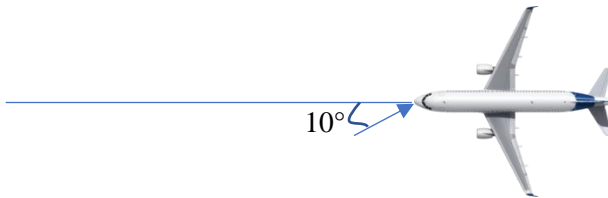
3.3.2 Evaluasi Besaran Crosswind tiap 10° runway

Pada tugas akhir ini Analisa windrose dilakukan dengan memakai program Windrose Pro 3. Gambar 3.2 menunjukkan urutan pengerjaan evaluasi besaran crosswind menggunakan program Windrose Pro 3.



Gambar 3.2 Urutan Pekerjaan Analisis Crosswind

Evaluasi besaran crosswind dilaksanakan tiap 10° karena sudut angin yang berpengaruh terhadap elemen crosswind jika lebih kecil dari 10° memiliki pengaruh yang kecil dan tidak substansial terhadap pesawat.



Gambar 3.3 Ilustrasi Arah Datang Crosswind 10°

3.3.3 Menentukan Lokasi Touchdown

Penentuan lokasi touchdown didasarkan pada besar komponen crosswind yang telah didapatkan dengan program Windrose Pro 3. Lokasi touchdown ditentukan pada lokasi

yang memiliki pengaruh crosswind terkecil sehingga pesawat dapat mendarat tanpa hambatan yang berarti dari angin.

3.3.4 Penentuan Jumlah Titik Touchdown

Penentuan jumlah titik touchdown didasarkan pada besar panjang takeoff dan landing dari pesawat. Pada tugas akhir ini panjang takeoff dan landing dari pesawat didasarkan pada ARFL masing-masing pesawat. Bila ARFL pesawat semakin pendek maka jumlah titik touchdown semakin banyak.

3.3.5 Perhitungan Panjang Takeoff

Pada tugas akhir ini perhitungan panjang takeoff didasarkan dengan perhitungan ARFL (Aeroplane Reference Field Length). ARFL menurut ICAO adalah landas pacu minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas. Rumus perhitungan ARFL dapat dilihat di rumus (2.1) sampai (2.4) pada bab 2.

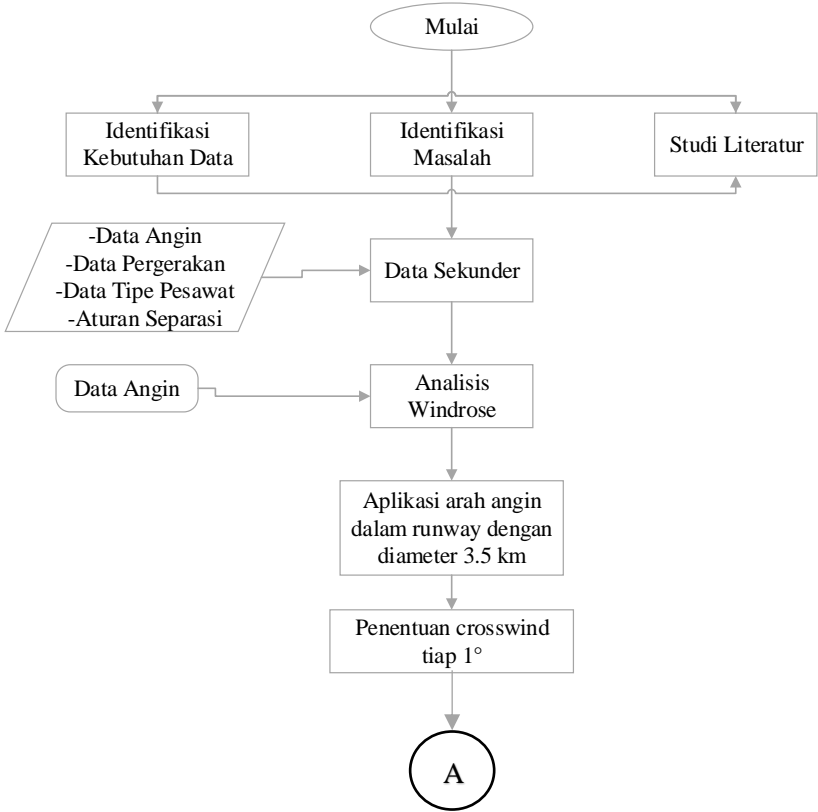
3.3.6 Menghitung Kapasitas Runway

Pada tugas akhir ini perhitungan kapasitas runway dilakukan secara matematis. Rumus untuk perhitungan kapasitas runway dapat dilihat di rumus (2.9) sampai (2.7) pada bab 2.

3.4 Kesimpulan Saran

Penulis memaparkan kesimpulan serta saran yang didapat dari hasil perencanaan.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.4 Diagram Alir



Gambar 3.4 Lanjutan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

PERENCANAAN RUNWAY

4.1 Panjang Runway Melingkar

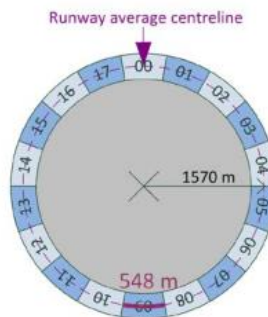
Karena bentuk runway adalah melingkar maka dalam perhitungan panjang runway digunakan rumus panjang keliling lingkaran, yaitu :

$$Lc = 2\pi * Rc$$

Pada perencanaan runway melingkar ini dipakai jari-jari lingkaran sebesar 1500 m ditambah dengan setengah lebar runway sebesar 140 m. Maka jari-jari total dari runway melingkar adalah 1570 m. Hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

$$Lc = 2\pi * 1570$$

$$Lc = 9864 \text{ m}$$



Gambar 4.1 Dimensi Runway Melingkar

4.2 Kebutuhan Panjang Runway

Panjang runway yang diperlukan untuk melakukan takeoff ataupun landing berbeda pada tiap tipe pesawat. Panjang runway tersebut didapat dalam keadaan berat maksimum (Maximum Takeoff Weight).

Panjang runway berdasarkan perhitungan manufaktur (L_{r0}) yang terpanjang adalah runway untuk takeoff dengan tipe pesawat Boeing 747 dengan panjang runway 3300 meter.

Untuk klasifikasi panjang runway yang diperlukan berdasarkan International Civil Aviation Organization (ICAO), maka panjang runway rencana tergolong pada klasifikasi A. Pengklasifikasian runway berdasarkan ICAO dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Klasifikasi Landasan Pacu Berdasarkan ICAO

Klasifikasi	Panjang Landasan Pacu
A	> 2550 m
B	2150 - 2250 m
C	1800 - 2150 m
D	1500 – 1800 m
E	1280 – 1500 m
F	1080 – 1280 m
G	900 – 1080 m

Data-data lain yang diperlukan

- Ketinggian lokasi dari muka air laut = 2.74 m
- Kemiringan landasan

Panjang runway berdasarkan perhitungan manufaktur yang terpanjang lalu dikoreksi berdasarkan elevasi, temperatur, dan kemiringan. Panjang runway setelah dikoreksi biasa disebut dengan Aeroplane Reference Field Length atau disingkat ARFL.

4.2.1 Koreksi Elevasi

Menurut ICAO bahwa panjang runway bertambah sebesar 7% setiap kenaikan 300 m dihitung dari ketinggian di atas permukaan laut. Maka rumusnya adalah :

$$F_e = 1 + [0.007 * \left(\frac{h}{300}\right)]$$

$$F_e = 1 + [0.007 * \left(\frac{2.74}{300}\right)]$$

$$F_e = 1.0000639$$

4.2.2 Koreksi Temperatur

Pada temperatur yang lebih tinggi, dibutuhkan landasan yang lebih panjang, sebab pada temperatur yang tinggi tingkat density udara akan rendah, dengan menghasilkan output daya dorong pesawat terbang yang rendah. Sebagai standar temperatur dipilih temperatur di atas muka laut sebesar 59° F = 15° C, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$F_t = 1 + \left[0.01 * \left(T - (15 - (0.0065 * h))\right)\right]$$

Data temperatur yang didapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Juanda pada tahun 2015

mengenai suhu rata-rata tiap bulan. Dari data tiap bulan tersebut dapat diketahui suhu puncak terjadi pada Bulan Januari adalah sebesar 34°C. Maka dari itu hitungan koreksi temperatur adalah :

$$F_t = 1 + \left[0.01 * \left(34 - (15 - (0.0065 * 2.74)) \right) \right]$$

$$F_t = 1.1498219$$

4.2.3 Kemiringan Landasan

Kemiringan keatas memerlukan landasan yang lebih panjang jika dibanding terhadap landasan yang datar atau yang menurun. Kriteria perencanaan lapangan terbang membatasi kemiringan landasan sebesar 1,5 %. Faktor koreksi kemiringan (F_s) sebesar 10 % setiap kemiringan 1 %, berlaku untuk kondisi lepas landas.

$$F_s = 1 + (0.1 * S)$$

Karena tidak ada perubahan ketinggian vertical pada runway melingkar maka perhitungan koreksi kemiringan landasan dapat diabaikan

Jadi panjang runway minimum dengan metode ARFL dihitung dengan persamaan berikut :

$$ARFL = (L_{ro} \times F_e \times F_t \times F_s)$$

$$ARFL = (3300 \times 1.000639 \times 1.1498219 \times 1)$$

$$ARFL = 3794.65 \text{ m}$$

$$ARFL = 3795 \text{ m}$$

Setelah panjang runway menurut ARFL diketahui dikontrol lagi dengan Aerodrome Reference Code (ARC) dengan tujuan untuk mempermudah membaca hubungan antara beberapa spesifikasi pesawat terbang dengan berbagai karakteristik bandara. Kontrol dengan ARC dapat dilakukan berdasarkan pada Tabel 5.2. dan 5.3.

Tabel 4.2 Aerodrome Reference Code (Kode Angka) Horonjeff (1998)

Kode Angka	Aerodrome Reference Field Length (ARFL)
1	< 800 m
2	800 - 1200 m
3	1200 - 1800 m
4	> 1800 m

Tabel 4.3 Aerodrome Reference Code (Kode Huruf) Horonjeff (1998)

Kode Huruf	Lebar Sayap (Wing Span)	Jarak Terluar Roda Pendaratan (Outer Main Gear Wheel Span)
A	4.5 - 15 m	< 4.5 m
B	15 - 24 m	4.5 - 6 m
C	24 - 36 m	6 - 9 m
D	36 - 52 m	9 - 14 m
E	52 - 60 m	9 - 14 m

Panjang runway minimum dengan metode ARFL adalah 3795 m, maka jika dilihat tabel 5.4 maka untuk kode elemen I termasuk kode 4 karena lebih besar dari 1800 meter. Untuk kode elemen II dibutuhkan bentang sayap tiap tipe pesawat yang menggunakan Bandara Juanda.

Didapatkan bentang sayap terbesar adalah pesawat Boeing 747-400 dengan bentang 64.8 meter. Maka pada kode elemen II didapatkan kode huruf E karena berada diantara bentang 52 dan 65 meter.

Dapat dilihat bahwa panjang minimum yang diperlukan oleh runway adalah sepanjang 3795 m. Hal ini membuktikan bahwa runway melingkar yang memiliki panjang keliling sebesar 9864 m sanggup menampung pesawat sekelas Boeing 747-400.

4.3 Lebar Runway

Karena lebar dari runway tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap jarak takeoff, lebar runway ditetapkan selebar 140 m untuk membatasi ukuran dari runway melingkar. Lebar yang lebih kecil tidak disarankan karena akan menyebabkan akselerasi lateral yang lebih besar.

4.4 Kemiringan Runway

Dimulai dari bagian dalam lingkaran yang memiliki permukaan rata kemiringan akan bertambah secara bertahap menuju ke bagian luar lingkaran. Karena gaya sentrifugal pesawat akan memulai dari bagian tengah runway dan bergerak ke bagian luar runway sampai lepas landas. Kemiringan dimulai dari sudut 0° sampai 20° .

4.5 Analisa Angin

Analisa arah angin diperlukan untuk menentukan arah angin dominan yang terjadi di runway. Pada runway konvensional landasan pacu harus searah dengan arah angin dominan. Hal ini memudahkan pesawat untuk melakukan manuver takeoff maupun landing. Di runway melingkar hal tersebut tidak perlu diperhatikan karena pesawat dapat mendarat di segmen yang telah ditentukan oleh ATC (Air Traffic Controller).

Untuk data angin didapat dari Iowa State University Enviromental Mesonet. Di bawah adalah data angin pada tanggal 1 Januari 2016 untuk data angin lengkap dapat dilihat pada lampiran. Dalam perencanaan ini diambil data angin selama bulan Januari 2016.

Tabel 4.4 Contoh Data Angin Untuk 1 Hari, yaitu Pada Tanggal 1 Januari 2016. Data Ini Adalah Bagian Dari Data Sejumlah 1 Bulan yang Menjadi Data Entri Untuk Program WRPLOT

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN
2015	1	1	1	280	9.2
2015	1	1	2	280	8.1
2015	1	1	3	280	5.8
2015	1	1	4	280	13.8
2015	1	1	5	220	6.9
2015	1	1	6	210	6.9
2015	1	1	7	170	4.6
2015	1	1	8	270	10.4
2015	1	1	9	130	9.2
2015	1	1	10	70	6.9
2015	1	1	11	340	5.8

Tabel 4.4 Lanjutan

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN
2015	1	1	13	270	4.6
2015	1	1	14	300	3.5
2015	1	1	15	270	4.6
2015	1	1	16	240	3.5
2015	1	1	17	240	4.6
2015	1	1	18	290	3.5
2015	1	1	19	290	8.1
2015	1	1	20	260	6.9
2015	1	1	21	220	4.6
2015	1	1	22	240	4.6
2015	1	1	23	290	9.2
2015	1	2	24	280	6.9

(Sumber : Iowa State University, 2016)

Selanjutnya data yang didapat dimasukkan ke aplikasi WRPLOT untuk diolah menjadi diagram windrose. Dari hasil analisa WRPLOT didapat hasil yang ditunjuk pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Analisa Angin WRPLOT

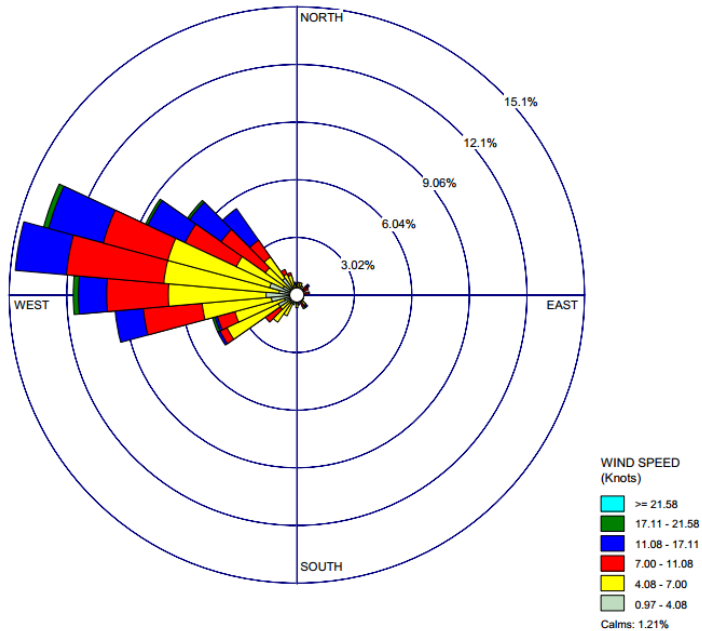
	Directions / Wind Classes (Knots)	0.97 - 4.08	4.08 - 7.00	7.00 - 11.08	11.08 - 17.11	17.11 - 21.58	>= 21.58	Total (%)
1	355 - 5	0.40377	0.13459	0	0	0	0	0.53836
2	5-15	0.13459	0.53836	0	0	0	0	0.67295
3	15 - 25	0.13459	0.53836	0	0	0	0	0.67295
4	25 - 35	0.26918	0.26918	0	0	0	0	0.53836
5	35 - 45	0	0	0	0	0	0	0
6	45 - 55	0	0.26918	0.40377	0.13459	0	0	0.80754
7	55 - 65	0.13459	0.26918	0.26918	0	0	0	0.67295
8	65 - 75	0	0.13459	0.13459	0	0	0	0.26918
9	75 - 85	0	0.13459	0.53836	0	0	0	0.67295
10	85 - 95	0	0.13459	0.26918	0	0	0	0.40377
11	95 - 105	0	0	0	0	0	0	0
12	105 - 115	0	0.26918	0	0	0	0	0.26918
13	115 - 125	0.13459	0.26918	0	0	0	0	0.40377
14	125 - 135	0	0.13459	0.26918	0	0	0	0.40377
15	135 - 145	0	0.67295	0	0.13459	0	0	0.80754

Tabel 4.5 Lanjutan

	Directions / Wind Classes (Knots)	0.97 - 4.08	4.08 - 7.00	7.00 - 11.08	11.08 - 17.11	17.11 - 21.58	>= 21.58	Total (%)
16	145 - 155	0.13459	0.26918	0.26918		0.13459	0	0.80754
17	155 - 165	0.13459	0	0	0	0	0	0.13459
18	165 - 175	0	0.26918	0	0.26918	0	0	0.53836
19	175 - 185	0.40377	0.26918	0	0	0	0	0.67295
20	185 - 195	0	0.40377	0	0	0	0	0.40377
21	195 - 205	0	0.26918	0.13459	0	0	0.13459	0.53836
22	205 - 215	0.26918	0.94213	0	0	0	0	1.21131
23	215 - 225	0.53836	1.21131	0	0	0	0	1.74966
24	225 - 235	0.13459	0.94213	0.94213	0	0	0	2.01884
25	235 - 245	1.07672	2.96097	0.40377	0.13459	0	0	4.57604
26	245 - 255	0.67295	2.69179	0.94213	0.13459	0.13459	0	4.57604
27	255 - 265	1.3459	3.63392	3.09556	1.48048	0	0	9.55585
28	265 - 275	1.61507	5.1144	3.23015	1.48048	0.26918	0	11.7093
29	275 - 285	0.94213	6.05653	5.1144	2.69179	0	0	14.8048
30	285 - 295	1.48048	5.51817	3.49933	2.96097	0.26918	0	13.7281

Tabel 4.5 Lanjutan

	Directions / Wind Classes (Knots)	0.97 - 4.08	4.08 - 7.00	7.00 - 11.08	11.08 - 17.11	17.11 - 21.58	>= 21.58	Total (%)
31	295 - 305	0.80754	2.69179	2.96097	2.15343	0.13459	0	8.74832
32	305 - 315	0.26918	1.74966	2.82638	2.01884	0.13459	0	6.99865
33	315 - 325	1.07672	1.3459	1.07672	2.01884	0	0	5.51817
34	325 - 335	0.26918	0.94213	0.26918	0	0	0	1.48048
35	335 - 345	0.26918	0.80754	0.13459	0	0	0	1.21131
36	345 - 355	0	0.53836	0	0.13459	0	0	0.67295
	Sub-Total	12.6514	42.3957	26.7833	15.747	1.07672	0.13459	98.7887
	Calms							1.21131
	Missing/Incomplete							0
	Total							100



Gambar 4.2 Windrose Bandara Juanda

Persyaratan ICAO, pesawat dapat mendarat atau lepas landas pada sebuah lapangan terbang pada 95% dari waktu dengan komponen crosswind tidak melebihi :

- 20 knots dengan ARFL ≥ 1500 m
- 13 knots dengan ARFL antara 1200 m – 1499 m
- 10 knots dengan ARFL < 1200 m

Dari hasil Analisa WRPLOT didapat bahwa angin di Bandara Juanda secara mayoritas berhembus dari arah barat ke timur dengan kecepatan maksimum sebesar 21.9 knots dari sudut 200° . Hasil Analisa juga membuktikan bahwa kondisi angin di Bandara Juanda relatif stabil dan tenang.

Dengan runway konvensional kita perlu menentukan konfigurasi runway untuk menentukan sudut yang paling tepat sesuai dengan arah angin. Akan tetapi dalam runway melingkar tidak diperlukan konfigurasi seperti runway konvensional karena pesawat dapat mendarat di segmen manapun sesuai dengan petunjuk dari ATC (*Air Traffic Controller*).

4.6 Penomoran Landasan Pacu

Dalam runway konvensional penomoran didasarkan pada arah mata angin kemana landasan tersebut menghadap. Arah angin dimulai dari 0° sampai 359° . Di runway melingkar penamaan tersebut tidak dapat digunakan sehingga diperlukan skema penomoran baru untuk runway melingkar.



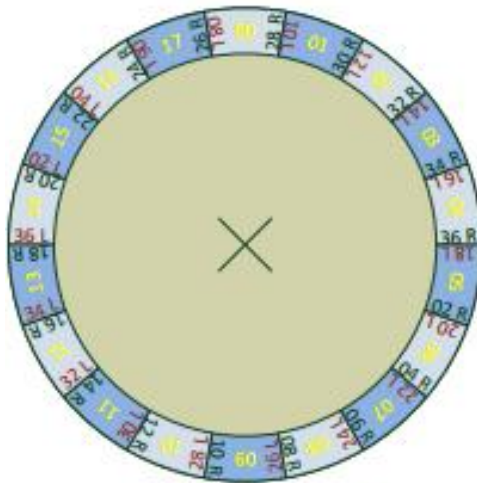
Gambar 4.3 Sistem Penomoran Runway Konvensional

Untuk memudahkan penamaan runway dibagi menjadi 18 segmen dengan tiap segmen. Tiap segmen memiliki panjang 548 m. Penomoran runway melingkar adalah berdasarkan sistem penomoran runway konvensional untuk memudahkan peralihan. Kedua arah runway melingkar dapat dipakai sesuai dengan petunjuk dari ATC (*Air Traffic Controller*).

Penomoran runway sesuai dengan sistem penomoran konvensional dimana penomoran didasarkan oleh *heading* dari pesawat yang melakukan takeoff atau pendaratan. Ketika segmen beroperasi searah jarum jam maka kode "L"

digunakan dan ketika segmen beroperasi melawan jarum jam maka kode “R” digunakan.

Sebagai contoh pesawat yang mendarat pada runway 06L akan memiliki *magnetic heading* sebesar 60° dan akan mendarat di segmen 17 dari arah barat daya, searah jarum jam.



Gambar 4.4 Sistem Penomoran Runway melingkar

Berdasarkan sistem penomoran ini maka runway dapat beroperasi dengan 2 moda yang berbeda yaitu searah jarum jam atau melawan jarum jam. Berikut adalah contoh operasi runway melingkar saat kondisi tenang

Tabel 4.6 Contoh Penomoran Runway Melingkar

Nomer Segmen	Marking	Heading	Tanpa Angin	
			Searah Jarum jam	Melawan jarum jam
00	08 L	080	Aktif	Non-aktif
	28 R	280	Non-aktif	Aktif
01	10 L	100	Aktif	Non-aktif
	30 R	300	Non-aktif	Aktif
02	12 L	120	Aktif	Non-aktif
	32 R	320	Non-aktif	Aktif
03	14 L	140	Aktif	Non-aktif
	34 R	340	Non-aktif	Aktif
...
17	06 L	060	Aktif	Non-aktif
	26 R	260	Non-aktif	Aktif

Sebagai faktor keamanan maka runway hanya dapat beroperasi searah, yaitu melawan atau searah jarum jam. Jika kondisi angin berubah dan operasi harus dilaksanakan dengan arah berbeda maka operasi sebelumnya harus tuntas sebelum perubahan arah operasi runway dilaksanakan.

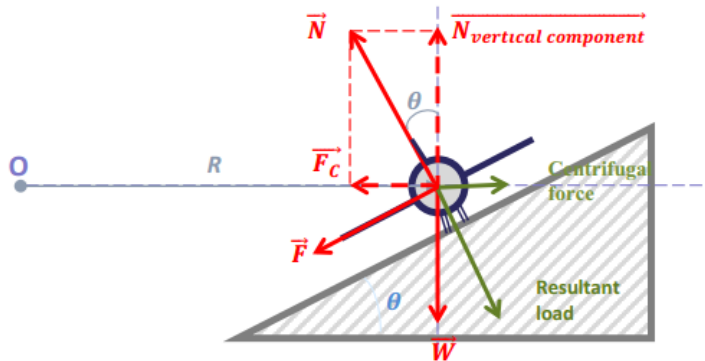
4.7 Analisia Gaya

Dalam perencanaan runway melingkar, runway dibuat miring kedalam. Hal tersebut dinamakan superelevasi yang berfungsi melawan gaya sentrifugal agar pesawat tetap bisa berjalan normal tanpa terpelant dari runway.

Load factor, biasa juga disebut dengan istilah G Force, jika terjadi pada sebuah coordinated turn merupakan sebuah

resultan gaya yang tercipta dari kombinasi gaya sentrifugal dan berat. Secara definisi, load factor merupakan rasio dari beban yang diterima oleh pesawat terhadap berat aktual dari pesawat beserta isinya.

Diperlukan perhitungan gaya untuk mengetahui apakah runway melingkar layak untuk dilaksanakan. Sebab manusia memiliki batasan dimana tubuh dapat menanggung g force. G force yang terlalu besar dapat menyebabkan kehilangan kesadaran bahkan kematian. Berikut adalah gaya-gaya yang terjadi pada pesawat di runway melingkar :



Gambar 4.5 Diagram Gaya di Runway Melingkar

$$N \cos \theta = mg + f \sin \theta$$

$$N \cos \theta - \mu N \sin \theta = mg$$

$$N(\cos \theta - \mu \sin \theta) = mg$$

$$N = \frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta}$$

$$F_{net} = N \sin \theta + f \cos \theta = N \sin \theta + \mu N \cos \theta$$

$$F_{net} = N(\sin \theta + \mu \cos \theta) = \left(\frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta} \right) (\sin \theta + \mu \cos \theta)$$

$$F_{net} = \frac{\sin \theta + \mu \cos \theta}{\cos \theta - \mu \sin \theta} mg = \frac{\tan \theta + \mu}{1 - \mu \tan \theta} mg$$

Pertama harus dilakukan perhitungan kecepatan aman maksimum yang dapat dilakukan oleh pesawat ketika berada di runway melingkar :

$$F_{net} = F_{centripetal}$$

$$\frac{\tan \theta + \mu}{1 - \mu \tan \theta} mg = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{\tan \theta + \mu}{1 - \mu \tan \theta} g = \frac{v^2}{r}$$

Dimana :

m = Massa pesawat

g = Gaya gravitasi bumi (9.81 m/s²)

μ = Koefisien gesekan aspal (0.67)

θ = Sudut kemiringan runway melingkar (20°)

v = Kecepatan

Maka :

$$\frac{\tan(20) + 0.67}{1 - \mu \tan(20)} (9.81) = \frac{v^2}{1570}$$

$$v^2 = 21060.78313$$

$$v = \sqrt{21060.78313}$$

$$v = 145.123 \approx 145 \text{ m/s} = 522 \text{ km/h}$$

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa runway melingkar mampu menanggung secara aman pesawat dengan kecepatan takeoff sebesar 522 km/h. Pesawat yang memiliki kecepatan takeoff paling besar dan dilayani oleh bandara Juanda adalah pesawat dengan tipe Boeing 747-400 yang memiliki kecepatan takeoff sebesar 290 km/h. Hal ini membuktikan bahwa pesawat yang lebih kecil dan memiliki kecepatan takeoff maksimum lebih kecil dari pesawat berjenis Boeing 747-400 dapat menggunakan runway melingkar secara aman.

Setelah mendapat kecepatan aman maksimum dilanjutkan dengan perhitungan percepatan lateral yang dialami oleh pesawat. Percepatan lateral dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Dimana

a = Percepatan Lateral

v = Kecepatan Pesawat (290 km/h = 81 m/s)

r = Jari-Jari runway melingkar

Maka :

$$a = \frac{81^2}{1570} = 4.18 \text{ m/s}^2 \approx 0.43g$$

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa gaya yang dialami oleh pesawat dan penumpang sebesar 0.43 g.

Pada tahun 1992 NASA (National Aeronautics and Space Administration) melakukan penelitian mengenai toleransi manusia terhadap g force dengan judul *Issues on Human Acceleration Tolerance After Long Duration Space Flights*.

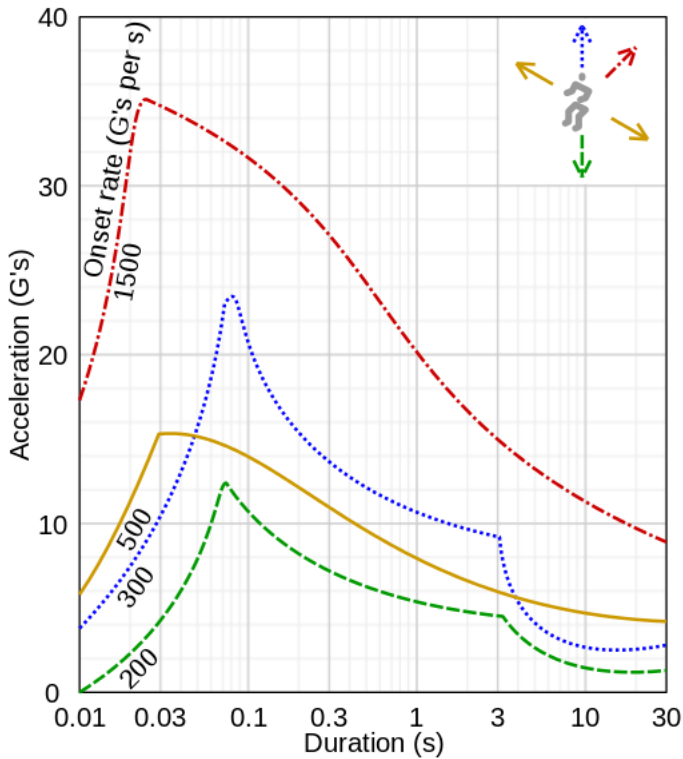
Dari hasil penelitian didapat bahwa manusia secara umum dapat menerima gaya akselerasi lateral sebesar 5 g tetapi ada juga yang mampu menerima gaya lebih dari 5g. Untuk hasil penelitian secara lengkap dapat dilihat pada gambar dibawah

Untuk memenuhi aspek keamanan juga perlu diketahui apakah runway melingkar memiliki panjang yang cukup sesuai dengan landing distance pesawat rencana dimana pesawat yang direncanakan berjenis Boeing 747-400. Dilakukan perhitungan panjang tali busur dari masing-masing segmen.

$$Tali Busur = 2r \sin \frac{\theta}{2}$$

$$Tali Busur = 2(1570) \sin \frac{160}{2} = 3092 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan didapat bahwa kedua segmen memiliki panjang tali busur sepanjang 3092 m sedangkan pesawat rencana yang berjenis Boeing 747-400 memiliki landing distance sepanjang 2134 m. Hal ini membuktikan bahwa runway melingkar memiliki panjang busur yang memadai untuk pengoperasian pesawat berjenis Boeing 747-400 maka dari itu dapat disimpulkan bahwa runway melingkar dapat dilaksanakan.



Gambar 4.6 Diagram Toleransi G-Force Manusia

(Sumber : NASA, 1992)

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa gaya akselerasi lateral yang diterima oleh penumpang dan pesawat adalah sebesar 0.43 g. Hal ini membuktikan bahwa runway melingkar tidak mengganggu kenyamanan atau keselamatan penumpang karena gaya akselerasi lateral yang terjadi relatif kecil. Sebagai acuan pesawat komersial secara umum menerima gaya sebesar 0.4 g.

BAB 5

EVALUASI KINERJA RUNWAY MELINGKAR

5.1 Perhitungan Kapasitas Runway Eksisting

Perhitungan kapasitas runway kondisi eksisting diambil pada bulan Desember 2016. Hari terpadat pada kondisi normal terjadi pada tanggal 3 Desember 2016 seperti pada tabel 5.1

Tabel 5.1 Pergerakan Pesawat di Runway Pada 13 Desember 2016

PUKUL	13 DESEMBER 2016		
	ARV	DEP	TOTAL
00:00 - 00:59	1		1
01:00 - 01:59			
02:00 - 02:59			
03:00 - 03:59			
04:00 - 04:59			
05:00 - 05:59			
06:00 - 06:59	4	15	19
07:00 - 07:59	12	13	25
08:00 - 08:59	7	11	18
09:00 - 09:59	10	10	20
10:00 - 10:59	9	8	17
11:00 - 11:59	6	9	15
12:00 - 12:59	5	5	10

Tabel 5.1 Lanjutan

PUKUL	13 DESEMBER 2016		
	ARV	DEP	TOTAL
13:00 - 13:59	13	6	19
14:00 - 14:59	9	12	21
15:00 - 15:59	8	9	17
16:00 - 16:59	12	7	19
17:00 - 17:59	11	8	19
18:00 - 18:59	9	9	18
19:00 - 19:59	10	13	23
20:00 - 20:59	5	2	7
21:00 - 21:59	4	1	5
22:00 - 22:59	3	1	4
23:00 - 23:59	3	2	5
TOTAL	141	141	282

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa jam puncak (peak hour) terjadi pada Pukul 07:00 – 07:59 dengan 25 pergerakan pesawat. Kategori pesawat digolongkan berdasarkan kecepatan pendaratan. Untuk lebih jelas penggolongan pesawat berdasarkan peraturan Federal Aviation Administration (FAA) dapat dilihat pada tabel 5.3

Tabel 5.2 Kategori Pesawat Berdasarkan Kecepatan Menurut FAA

Kategori	Kecepatan Mendarat
A	< 90 knots
B	91 knots - 120 knots
C	121 knots - 140 knots
D	141 knots - 165 knots

Jadwal penerbangan tanggal 13 Desember 2016 pukul 07:00 – 07:59 dapat dilihat pada tabel dan tabel serta tipe-tipe pesawat dan karakteristiknya pada tabel 5.4

Tabel 5.3 Campuran Pesawat dan Karakteristiknya

TIPE PESAWAT	APPROACH SPEED (knot)	WAKTU PEMAKAIAN RUNWAY (detik)	Presentase	
			ARV	DEP
A				
B	97	62	8	8
C	120	67.4	42	69
D	140	64.5	50	23

Tabel 5.4 Jadwal Kedatangan Pesawat Pada 13 Desember 2016

No	KEDATANGAN / ARRIVALS			
	TYPE PESAWAT	LANDING SPEED	KATEGORI PESAWAT	JAM
1	B - 734	137	C	7:00
2	B - 732	150	D	7:00
3	B - 739	145	D	7:05
4	A-320	130	C	7:10
5	B - 732	150	D	7:10
6	B - 734	137	C	7:15
7	A-320	130	C	7:20
8	B - 738	140	C	7:20
9	B - 739	145	D	7:20
10	B - 739	145	D	7:25
11	ATR - 72	120	B	7:25
12	B - 739	145	D	7:30

Tabel 5.5 Jadwal Keberangkatan Pesawat Pada 13 Desember 2016

No	<i>KEBERANGKATAN / DEPARTURES</i>			
	TYPE PESAWAT	LANDING SPEED	KATEGORI PESAWAT	JAM
1	A-320	130	C	7:00
2	B - 738	140	C	7:00
3	A-320	130	C	7:00
4	B - 739	145	D	7:05
5	A-320	130	C	7:10
6	A-320	130	C	7:35
7	B - 734	137	C	7:40
8	B - 732	150	D	7:40
9	B - 734	137	C	7:45
10	B - 733	130	C	7:50
11	B - 732	150	D	7:50
12	B - 734	137	C	7:55
13	ATR - 72	120	B	7:55

Lalu lintas pada bandara Juanda terdiri dari lalu lintas IFR dan VFR. Hanya lalu lintas IFR yang dimasukkan kedalam perhitungan. Meskipun demikian lalu lintas VFR memiliki porsi yang cukup besar dari total lalu lintas.

Pesawat kategori A adalah pesawat bermesin baling-baling seperti C-172/182 dan pesawat berkarateristik sama. Pesawat kategori B adalah pesawat bermesin turbo-prop seperti DHC-7/8, ATR-42/72, L-410, PC-9 dan pesawat berkarakteristik sama. Pesawat kategori C dan D adalah

pesawat yang bermesin jet seperti A-320, F-100, MD-80, CRJ, B-737 dan pesawat berkarakteristik sama.

5.1.1 Kedatangan Saja

Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menghitung kapasitas runway dengan menganggap bahwa runway akan melayani pesawat yang datang saja (arrivals only)

Keadaan Bebas Kesalahan [M_{ij}]

Diketahui rata-rata pemisahan minimum di antara pesawat yang dibutuhkan di ruang angkasa di dekat landasan (δ_{ij}) adalah 3 nmi dan jalur pintu masuk ke landasan rata-rata sebesar 6 nmi

- **Keadaan merapat**, dimana kecepatan pesawat di depan (leading, V_i) lebih lambat daripada pesawat yang di belakang (trailing, V_j).

$$\text{Rumus : } T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j}$$

Jika $V_C = 120$ knots dan $V_D = 140$ knots, maka :

$$T_{CD} = \frac{3}{140}(3600) = 77.143 \text{ detik}$$

Jika $V_B = 97$ knots dan $V_C = 120$ knots, maka :

$$T_{BC} = \frac{3}{120}(3600) = 90 \text{ detik}$$

Jika $V_B = 97$ knots dan $V_D = 140$ knots, maka :

$$T_{BD} = \frac{3}{140}(3600) = 77.143 \text{ detik}$$

- **Keadaan meregang**, dimana kecepatan pesawat di depan (leading, V_i) lebih cepat daripada kecepatan pesawat yang ada di belakang (trailing, V_j).

$$\text{Rumus : } T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i} + \gamma \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right)$$

Jika $V_D = 140$ knots dan $V_C = 120$ knots, maka :

$$T_{DC} = T_C - T_D = \frac{\delta_{DC}}{V_D} + \gamma \left(\frac{1}{V_C} - \frac{1}{V_D} \right) (3600)$$

$$T_{DC} = \frac{3(3600)}{140} + 9 \left(\frac{1}{120} - \frac{1}{140} \right) (3600)$$

$$T_{DC} = 115.714 \text{ detik}$$

Jika $V_D = 140$ knots dan $V_B = 97$ knots, maka :

$$T_{DB} = T_B - T_D = \frac{\delta_{DB}}{V_D} + \gamma \left(\frac{1}{V_B} - \frac{1}{V_D} \right) (3600)$$

$$T_{DB} = \frac{3(3600)}{140} + 9 \left(\frac{1}{97} - \frac{1}{140} \right) (3600)$$

$$T_{DB} = 179.735 \text{ detik}$$

Jika $V_C = 120$ knots dan $V_B = 97$ knots, maka :

$$T_{CB} = T_B - T_C = \frac{\delta_{CB}}{V_C} + \gamma \left(\frac{1}{V_B} - \frac{1}{V_C} \right) (3600)$$

$$T_{CB} = \frac{3(3600)}{140} + 9 \left(\frac{1}{97} - \frac{1}{120} \right) (3600)$$

$$T_{CB} = 141.163 \text{ detik}$$

- **Keadaan sama besar**, dimana kecepatan pesawat di depan (leading, V_i) dan di belakang (trailing, V_j) sama besar.

$$\text{Rumus : } T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j}$$

Jika $V_i = V_j = 97$ knots, maka :

$$T_{BB'} = \frac{3}{97} (3600) = 111.34 \text{ detik}$$

Jika $V_i = V_j = 120$ knots, maka :

$$T_{CC'} = \frac{3}{120} (3600) = 90 \text{ detik}$$

Jika $V_i = V_j = 140$ knots, maka :

$$T_{DD'} = \frac{3}{140} (3600) = 77.143 \text{ detik}$$

Karena waktu pemakaian runway, R_i rata-rata lebih kecil dari waktu pemisahan di udara, maka yang akan digunakan dalam perhitungan kapasitas yaitu waktu pemisahan di udara (T_{ij}).

Apabila hasil-hasilnya ditabulasi dalam sebuah matriks bebas kesalahan $[M_{ij}]$, maka akan dihasilkan pemisahan waktu minimum di ambang runway untuk semua keadaan sebagai berikut:

		<i>Leading</i>		
		140	120	97
<i>trailing</i>	140	77.143	77.143	77.143
	120	115.714	90	90
	97	179.735	141.163	111.34

Sementara presentase kombinasi $[P_{ij}]$ yang terjadi dalam campuran dapat dilihat pada matriks presentase di bawah. Besarnya presentase campuran tersebut diperoleh dari jadwal kedatangan.

		<i>Leading</i>		
		140	120	97
<i>trailing</i>	140	25	21	4
	120	21	18	3
	97	4	3	1

$$E[T_{ij}] = \sum p_{ij} M_{ij} = \sum p_{ij} T_{ij}$$

$$E[T_{ij}] = 94.31 \text{ detik}$$

Dengan demikian kapasitas sistem runway untuk melayani kedatangan saja adalah :

$$C = \frac{1}{E(T_{ij})} (3600)$$

$$C = \frac{1}{94.31} (3600) = 38 \text{ operasi/jam}$$

Keaadaan Kesalahan Posisi

Dengan menganggap bahwa terdapat kesalahan posisi (σ_0) pada jadwal penerbangan sebesar 20 detik yang didistribusikan secara normal, dan probabilitas pelanggaran aturan pisah minimum untuk jarak kedatangan yang diperbolehkan adalah 10 persen, maka kapasitas runway untuk keadaan tersebut dapat dihitung. Dengan probabilitas pelanggaran sebesar 10 persen, nilai q_v dapat dicari dari tabel-tabel statistik yaitu sebesar 1,28.

- Keadaan merapat, besarnya penyangga tidak tergantung pada kecepatan.

Rumus :

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v$$

$$B_{ij} = 20 (1.28) = 25.6 \text{ detik}$$

- Keadaan meregang, dimana pesawat yang ada di depan (leading, V_i) lebih cepat dari yang dibelakangnya (trailing, V_j)

$$\text{Rumus : } B_{ij} = \sigma_0 q_v - \delta_{ij} \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right)$$

Jika $V_D = 140$ knots dan $V_C = 120$ knots, maka :

$$B_{DC} = \sigma_0 q_v - \delta_{DC} \left(\frac{1}{V_C} - \frac{1}{V_D} \right) (3600)$$

$$B_{DC} = 20 (1.28) - 3 \left(\frac{1}{120} - \frac{1}{140} \right) (3600)$$

$$B_{DC} = 12.743 \text{ detik}$$

Jika $V_D = 140$ knots dan $V_B = 97$ knots, maka :

$$B_{DB} = \sigma_0 q_v - \delta_{DB} \left(\frac{1}{V_B} - \frac{1}{V_D} \right) (3600)$$

$$B_{DB} = 20 (1.28) - 3 \left(\frac{1}{97} - \frac{1}{140} \right) (3600)$$

$$B_{DB} = -8.5973 \text{ detik}$$

Jika $V_C = 120$ knots dan $V_B = 97$ knots, maka :

$$B_{CB} = \sigma_0 q_v - \delta_{CB} \left(\frac{1}{v_B} - \frac{1}{v_C} \right) (3600)$$

$$B_{DC} = 20 (1.28) - 3 \left(\frac{1}{97} - \frac{1}{120} \right) (3600)$$

$$B_{CB} = 4.2598 \text{ detik}$$

- Keadaan sama besar, dimana kecepatan pesawat di depan (leading, V_i) dan di belakang (trailing, V_j) sama besar. Dari hasil perhitungan akan didapat hasil yang sama yaitu 25.6 detik.

Nilai-nilai sanggah tersebut kemudian diringkaskan ke dalam sebuah matriks nilai sanggah $[B_{ij}]$ seperti berikut.

		<i>Leading</i>		
		140	120	97
<i>trailing</i>	140	25.6	25.60	25.60
	120	12.74	25.60	25.60
	97	-8.60	4.26	25.60

Dengan menggabungkan matriks bebas kesalahan $[M_{ij}]$ dan matriks nilai sanggah $[B_{ij}]$, dihasilkan jarak waktu antar kedatangan sebenarnya di ambang runway:

		<i>Leading</i>		
		140	120	97
<i>trailing</i>	140	102.743	102.743	77.143
	120	128.454	115.60	90
	97	171.135	145.423	136.94

Apabila ini digabungkan dengan prosentase campuran pesawat $[P_{ij}]$, waktu antar kedatangan rata-rata adalah

$$E[T_{ij}] = \sum p_{ij} M_{ij} = \sum p_{ij} T_{ij}$$

$$E[T_{ij}] = 113.76 \text{ detik}$$

Dengan demikian kapasitas sistem runway untuk melayani kedatangan apabila terdapat kesalahan posisi adalah :

$$C = \frac{1}{E(T_{ij})} (3600)$$

$$C = \frac{1}{113.76} (3600) = 31 \text{ operasi/jam}$$

5.1.2 Keberangkatan Saja

Langkah berikutnya yaitu dengan menganggap bahwa runway akan melayani pesawat yang berangkat saja (departures only)

Jarak pisah minimum antar keberangkatan didapatkan sebesar 120 detik (Menara ATC Bandara Internasional Juanda Surabaya). Matriks prosentase kombinasi $[P_{ij}]$ yang terjadi dalam campuran dapat dilihat pada matriks presentase di bawah.

		<i>Leading</i>		
		140	120	97
<i>trailing</i>	140	5.3	15.9	1.8
	120	15.9	47.6	5.5
	97	1.8	5.5	0.6

Besar waktu pelayanan antar keberangkatan di ambang runway $E(t_d)$ adalah sebagai berikut:

$$E(t_d) = \sum (p_{ij})(M_{ij})$$

$$E(t_d) = 120 \text{ detik}$$

Kapasitas runway yang hanya melayani keberangkatan saja diperoleh dari rumus :

$$C = \frac{1}{E(T_{ij})} (3600)$$

$$C = \frac{1}{120} (3600) = 30 \text{ operasi/jam}$$

5.1.3 Operasi Campuran

Langkah terakhir dalam menentukan kapasitas runway yaitu dengan menemukan kemungkinan dilakukannya operasi keberangkatan (departure) di antara dua kedatangan (arrivals). Pergerakan pesawat di runway harus mengutamakan pesawat yang akan mendarat (arrivals) karena apabila terjadi delay 30 menit, maka pesawat yang akan mendarat tersebut akan dialihkan ke bandara terdekat.

Waktu pemakaian runway rata-rata, merupakan jumlah perkalian dari presentase kategori pesawat dengan waktu pemakaian runway tiap kategori pesawat

$$E[R_i] = 0,08(62) + 0,42(67,4) + 0,50(64,5) = 65,50 \text{ detik}$$

Waktu yang diharapkan pesawat yang datang untuk menempuh jarak 2 mil terakhir ke ambang runway adalah :

$$E\left(\frac{\delta d}{v_j}\right) = \left[0,08\left(\frac{2}{97}\right) + 0,42\left(\frac{2}{120}\right) + 0,50\left(\frac{2}{140}\right)\right]3600 = 56,90 \text{ detik}$$

$$E(t_d) = 120 \text{ detik}$$

$$E(B_{ij}) = 20 (1,28) = 26 \text{ detik}$$

Maka untuk menghitung kemungkinan suatu operasi keberangkatan dapat dilakukan di antara dua operasi kedatangan menggunakan rumus berikut :

$$E[T_{ij}] \geq E[R_i] + E\left[\frac{\delta_d}{V_j}\right] + E(B_{ij}) + (n-1) E(t_d)$$

$$\begin{aligned} E[T_{ij}] &\geq 65,50 + 56,90 + 26 + (n-1) 120 \\ &\geq 148,40 + 120 (n-1) \end{aligned}$$

Untuk satu keberangkatan di antara dua kedatangan, akan didapatkan waktu antar kedatangan sebesar 148,40 detik. Untuk dua keberangkatan di antara dua kedatangan, akan didapatkan waktu antar kedatangan sebesar 268,40 detik. Dan untuk tiga keberangkatan di antara dua kedatangan, akan didapatkan waktu antar kedatangan sebesar 388,40 detik.

Oleh karena itu, satu kali keberangkatan dapat dilakukan di sembarang waktu jika waktu antar kedatangan sebesar 148,40 detik dan 268,40 detik. Dua kali keberangkatan dapat dilakukan di sembarang waktu jika waktu antar kedatangan sebesar 268,40 detik dan 388,40 detik, dan seterusnya.

Dari matriks waktu antar kedatangan dapat diketahui bahwa kemungkinan satu buah keberangkatan yang dapat dilakukan di antara dua kedatangan terjadi sebesar 4 persen, dan tidak bisa melakukan keberangkatan lebih dari satu kali di antara dua kedatangan . Kapasitas runway untuk kondisi tersebut dapat dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d p_{nd})$$

$$C_m = \frac{1(3600)}{114} (1 + 1(0.04)) = 32 \text{ operasi/jam}$$

Karena nilai yang ada pada matriks waktu antar kedatangan [Mij] paling tidak sebesar 148,40 detik, maka nilai yang lebih kecil dari itu akan diganti menjadi 148,40 detik agar satu buah keberangkatan dapat dilakukan di antara dua kedatangan

		<i>Leading</i>		
		140	120	97
<i>trailing</i>	140	148.4	148.4	148.4
	120	148.4	148.4	148.4
	97	171.135	148.4	148.4

Sehingga,

$$E[T_{ij}] = 0.25(148.4) + 0.21(148.4) + 0.04(148.4) + 0.21(148.4) + 0.18(148.4) + 0.03(148.4) + 0.04(171.135) + 0.03(148.4) + 0.01(148.4) = 147.15$$

Maka kapasitas runway untuk operasi campuran menjadi

$$C_m = \frac{1(3600)}{147} (1 + 1(0.96) + 0.04(2)) = 49 \text{ operasi/jam}$$

5.2. Kapasitas Runway Melingkar

Untuk menentukan kapasitas runway melingkar diperlukan analisa crosswind untuk menentukan lokasi takeoff dan pendaratan. Untuk analisa crosswind digunakan aplikasi Windrose Pro 3. Data yang didapat dari Iowa State University Enviromental Mesonet dimasukkan ke software Windrose Pro 3 untuk dilakukan analisa crosswind. Berikut adalah hasil analisa crosswind Juanda :

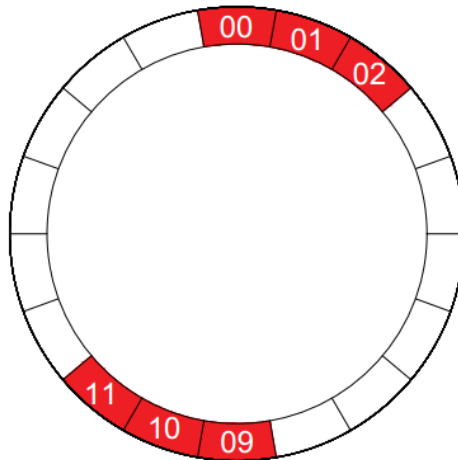
Tabel 5.6 Hasil Analisa Crosswind Windrose Pro 3

Runway orientation (degree)	Wind coverage (%)	Max crosswind from left (kn)	Max crosswind from right (kn)
0	100	12.33331583	17.29999924
10	100	11.12022516	18.12046228
20	100	13.25256828	18.39999962
30	100	14.98223882	18.12046228
40	100	16.25668162	17.29999924
50	100	17.03717338	17.03717338
60	100	17.29999924	16.25668162
70	100	17.03717338	15.12905155
80	100	18.96595601	13.94300933
90	99.8654105	20.57926804	12.33331583
100	99.8654105	21.56728942	12.33331583
110	99.8654105	21.89999962	13.94300933
120	99.8654105	21.56728942	15.12905155
130	99.8654105	20.57926804	15.8554052

Tabel 5.6 Lanjutan

Runway orientation (degree)	Wind coverage (%)	Max crosswind from left (kn)	Max crosswind from right (kn)
140	100	18.96595601	16.10000038
150	100	18.12046228	15.8554052
160	100	18.39999962	15.12905155
170	100	18.12046228	13.94300933
180	100	17.29999924	12.33331583
190	100	18.12046228	11.12022516
200	100	18.39999962	13.25256828
210	100	18.12046228	14.98223882
220	100	17.29999924	16.25668162
230	100	17.03717338	17.03717338
240	100	16.25668162	17.29999924
250	100	15.12905155	17.03717338
260	100	13.94300933	18.96595601
270	99.8654105	12.33331583	20.57926804
280	99.8654105	12.33331583	21.56728942
290	99.8654105	13.94300933	21.89999962
300	99.8654105	15.12905155	21.56728942
310	99.8654105	15.8554052	20.57926804
320	100	16.10000038	18.96595601
330	100	15.8554052	18.12046228
340	100	15.12905155	18.39999962
350	100	13.94300933	18.12046228

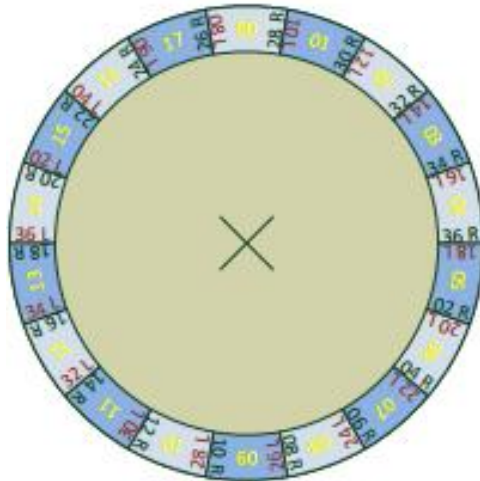
Dari hasil analisa dapat dilihat bahwa crosswind yang lebih besar dari 20 knots berasal dari sudut 360° , 10° , 20° , 30° , dan 40° . Dalam pembahasan sebelumnya dinyatakan bahwa runway melingkar dibagi menjadi 18 segmen. Dengan mengetahui arah angin crosswind dominan dapat ditentukan posisi touchdown dan pendaratan.



Gambar 5.1 Segmen yang Tidak Dapat Digunakan

Dengan hasil analisa tersebut ditentukan bahwa segmen runway 00, 01, 02, 09, 10, dan 11 tidak dapat digunakan karena komponen crosswind melebihi 20 knots. Maka dipilih segmen yang memiliki komponen crosswind lebih kecil dari 20 knots yaitu pada segmen 04 dan 13 yang masing-masing memiliki komponen crosswind sebesar 18 knots dan 18 knots.

Selain Crosswind diperlukan analisa pengaruh tailwind terhadap kapasitas runway. Dari Analisa Windrose didapatkan bahwa tailwind yang terjadi di segmen 04 dan 13 tidak melebihi 4 knots. Pesawat berjenis Boeing 747-400 memiliki toleransi maksimal terhadap tailwind sebesar 15 knots. Hal ini membuktikan bahwa pemilihan segmen 04 dan 13 sebagai lokasi touchdown adalah keputusan yang tepat.



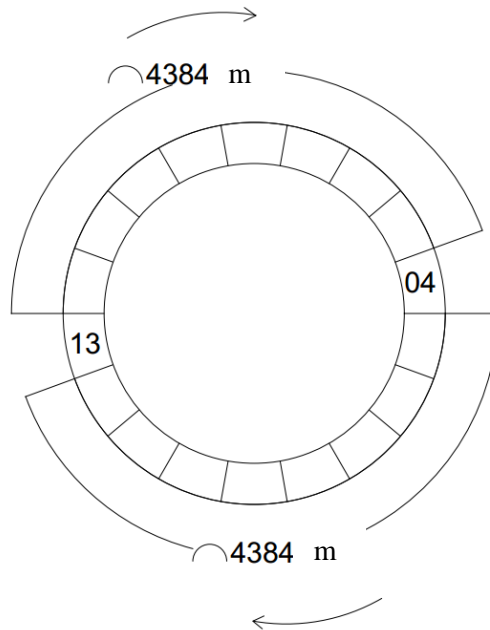
Gambar 5.2 Segmen Runway Melingkar

Dari perhitungan di bab 4 diketahui bahwa ARFL adalah sepanjang 3795 m maka runway harus memiliki panjang minimal sepanjang ARFL. Jarak segmen 4 ke segmen 13 adalah sepanjang 4384 m begitu juga dengan jarak segmen 13 ke segmen 4. Maka dari itu runway melingkar dapat beroperasi menjadi seperti 2 runway individual. Dalam perencanaan ini runway beroperasi searah dengan jarum jam.

Runway melingkar dapat beroperasi sebagai 2 runway individual secara bersamaan dan aman karena runway yang bekerja secara parallel harus memiliki jarak separasi minimum sebesar 213 m sedangkan runway melingkar yang direncanakan memiliki jarak sebesar 3000 m .

Jika 2 runway bergerak secara individual maka kapasitas runway akan bertambah 2 kali lipat. Dalam perhitungan sebelumnya diketahui bahwa kapasitas runway eksisting untuk kedatangan saja adalah 31 operasi/jam, keberangkatan saja 30 operasi/jam dan operasi campuran sebanyak 49 operasi/jam. Dengan runway melingkar maka kapasitas runway akan bertambah menjadi 62 operasi/jam untuk kedatangan saja, 60 operasi/jam untuk keberangkatan saja dan 98 operasi/jam untuk operasi campuran.

Karena ARFL yang digunakan adalah ARFL untuk pesawat bertipe Boeing 747-400 maka runway hanya mampu menampung 2 pesawat secara bersamaan. Ketika tipe pesawat yang beroperasi hanya pesawat bertipe boeing 737-300 atau Airbus A320 maka runway melingkar dapat beroperasi menjadi 4 runway individual karena ARFL pesawat tersebut lebih pendek dibandingkan pesawat bertipe Boeing 747-400. Hal ini meningkatkan kapasitas menjadi 4 kali lipat dibandingkan dengan runway konvensional.



Gambar 5.3 Arah Operasi Runway Melingkar

Perlu diperhatikan dalam pembangunan runway melingkar diperlukan investasi awal yang besar untuk teknologi ATC (*Air Traffic Controller*). Teknologi ATC yang diperlukan runway melingkar ini adalah teknologi ATC yang paling muktahir karena pengoperasian runway melingkar sangat kompleks dan memiliki kapasitas runway yang jauh lebih besar dibandingkan dengan runway konvensional. Karena runway melingkar merupakan implementasi penelitian yang tergolong baru diperlukan pelatihan khusus dalam pengoperasian runway baik untuk pihak pengelola runway dan pilot.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan dalam Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Crosswind terbesar adalah sebesar 20.58 knots, 21.57 knots, 21.9 knots, 21.57 knots, dan 20.58 knots yang berhembus dari barat ke timur.
2. Titik touchdown yang memungkinkan di runway melingkar dengan pesawat berjenis Boeing 747-400 sebagai acuan ARFL adalah 2 titik touchdown. Jumlah titik touchdown dapat bertambah banyak bila ARFL acuan yang digunakan lebih pendek seperti untuk pesawat berjenis Boeing 737.
3. Gaya yang dirasakan oleh pesawat saat mendarat di runway melingkar adalah sebesar 0.43 g. Sehingga masih masuk dalam batas kenyamanan penumpang.
4. Kapasitas runway konvensional Juanda adalah sebesar 32 operasi per jam. Kapasitas runway melingkar adalah sebesar 64 operasi per jam, kapasitas tersebut dapat meningkat tergantung dengan tipe pesawat yang dilayani.

6.2 Saran

Adapun saran untuk perencanaan runway melingkar di Bandara Internasional Juanda adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan perencanaan tambahan terhadap desain terminal, taxiway, apron, dan fasilitas penunjang lainnya.
2. Perlu dilakukan penelitian secara lebih rinci terhadap kapasitas runway melingkar.
3. Dalam perencanaan runway melingkar dibutuhkan setidaknya lahan seluas 7.74 km^2 . Kebutuhan lahan ini lebih kecil dibandingkan runway yang memiliki runway parallel seperti bandara Soekarno Hatta Cengkareng yang memiliki luas 17.4 km^2 .
4. Perlu adanya regulasi mengenai pengoperasian runway melingkar.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewansyah, I. (2015). Windrose. *Tugas Akhir*(1).
- Flightstats. (2017). *FlightStats*. Retrieved Agustus 1, 2017, from <https://www.flightstats.com/v2>
- Hesselink, H. (2014). The Endless Runway Project. *Seventh Framework Programme, I*(3).
- Horonjeff, R. M. (2010). *Planning and Design of Airports* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Kumar, K. V. (1992). Issues on Human Acceleration Tolerance After Long-Duration Space Flights. *NASA Technical Memorandum 104753, I*(1).
- L'hotellier, E. (2015). Wake Turbulence Separation Minima. *Icao, I*(2).
- Melbourne Airport Runway Occupancy Time. (2015). *Airport Capacity Enhancement, I*(1).
- University, I. S. (2017). *Iowa Enviromental Mesonet*. Retrieved September 3, 2017, from http://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.php?network=IO__ASOS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	1	1	280	9.2
2015	1	1	2	280	8.1
2015	1	1	3	280	5.8
2015	1	1	4	280	13.8
2015	1	1	5	220	6.9
2015	1	1	6	210	6.9
2015	1	1	7	170	4.6
2015	1	1	8	270	10.4
2015	1	1	9	130	9.2
2015	1	1	10	70	6.9
2015	1	1	11	340	5.8
2015	1	1	12	330	8.1
2015	1	1	13	270	4.6
2015	1	1	14	300	3.5
2015	1	1	15	270	4.6
2015	1	1	16	240	3.5
2015	1	1	17	240	4.6
2015	1	1	18	290	3.5
2015	1	1	19	290	8.1
2015	1	1	20	260	6.9

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	1	21	220	4.6
2015	1	1	22	240	4.6
2015	1	1	23	290	9.2
2015	1	2	24	280	6.9
2015	1	2	1	250	6.9
2015	1	2	2	250	10.4
2015	1	2	3	230	9.2
2015	1	2	4	280	13.8
2015	1	2	5	300	15
2015	1	2	6	270	12.7
2015	1	2	7	290	16.1
2015	1	2	8	260	10.4
2015	1	2	9	280	2.3
2015	1	2	10	300	9.2
2015	1	2	11	290	3.5
2015	1	2	12	220	4.6
2015	1	2	13	270	4.6
2015	1	2	14	270	8.1
2015	1	2	15	220	4.6
2015	1	2	16	260	4.6

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	2	17	320	6.9
2015	1	2	18	300	9.2
2015	1	2	19	300	10.4
2015	1	2	20	300	9.2
2015	1	2	21	270	5.8
2015	1	2	22	290	8.1
2015	1	2	23	260	6.9
2015	1	3	24	280	11.5
2015	1	3	1	300	12.7
2015	1	3	2	290	13.8
2015	1	3	3	290	10.4
2015	1	3	4	300	17.3
2015	1	3	5	300	15
2015	1	3	6	310	11.5
2015	1	3	7	290	10.4
2015	1	3	8	260	2.3
2015	1	3	9	280	3.5
2015	1	3	10	340	3.5
2015	1	3	11	270	4.6
2015	1	3	12	250	4.6

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	3	13	310	5.8
2015	1	3	14	320	8.1
2015	1	3	15	280	4.6
2015	1	3	16	260	5.8
2015	1	3	17	240	4.6
2015	1	3	18	310	4.6
2015	1	3	19	290	6.9
2015	1	3	20	280	5.8
2015	1	3	21	290	5.8
2015	1	3	22	260	3.5
2015	1	3	23	270	8.1
2015	1	4	24	260	9.2
2015	1	4	1	250	10.4
2015	1	4	2	280	5.8
2015	1	4	3	290	2.3
2015	1	4	4	150	8.1
2015	1	4	5	50	16.1
2015	1	4	6	170	12.7
2015	1	4	7	270	8.1
2015	1	4	8	300	9.2

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	4	9	280	6.9
2015	1	4	10	260	9.2
2015	1	4	11	260	9.2
2015	1	4	12	260	4.6
2015	1	4	13	270	5.8
2015	1	4	14	270	5.8
2015	1	4	15	290	4.6
2015	1	4	16	290	4.6
2015	1	4	17	0	0
2015	1	4	18	270	4.6
2015	1	4	19	290	2.3
2015	1	4	20	280	5.8
2015	1	4	21	290	5.8
2015	1	4	22	360	5.8
2015	1	4	23	270	4.6
2015	1	5	24	80	9.2
2015	1	5	1	90	8.1
2015	1	5	2	50	6.9
2015	1	5	3	280	12.7
2015	1	5	4	170	16.1

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	5	5	80	6.9
2015	1	5	6	90	6.9
2015	1	5	7	50	9.2
2015	1	5	8	10	5.8
2015	1	5	9	360	3.5
2015	1	5	10	340	3.5
2015	1	5	11	290	3.5
2015	1	5	12	220	3.5
2015	1	5	13	0	0
2015	1	5	14	250	4.6
2015	1	5	15	220	5.8
2015	1	5	16	240	3.5
2015	1	5	17	280	1.2
2015	1	5	18	220	2.3
2015	1	5	19	320	4.6
2015	1	5	20	280	2.3
2015	1	5	21	290	2.3
2015	1	5	22	360	3.5
2015	1	5	23	270	4.6
2015	1	6	24	270	8.1

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	6	1	60	4.6
2015	1	6	2	60	9.2
2015	1	6	3	300	10.4
2015	1	6	4	130	9.2
2015	1	6	5	150	8.1
2015	1	6	6	20	6.9
2015	1	6	7	340	4.6
2015	1	6	8	340	5.8
2015	1	6	9	310	8.1
2015	1	6	10	300	6.9
2015	1	6	11	290	5.8
2015	1	6	12	300	4.6
2015	1	6	13	300	4.6
2015	1	6	14	260	4.6
2015	1	6	15	270	4.6
2015	1	6	16	330	2.3
2015	1	6	17	230	3.5
2015	1	6	18	260	3.5
2015	1	6	19	0	0
2015	1	6	20	140	6.9

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	6	21	140	4.6
2015	1	6	22	50	9.2
2015	1	6	23	80	8.1
2015	1	7	24	270	12.7
2015	1	7	1	280	11.5
2015	1	7	2	270	12.7
2015	1	7	3	280	13.8
2015	1	7	4	290	15
2015	1	7	5	150	17.3
2015	1	7	6	60	4.6
2015	1	7	7	240	4.6
2015	1	7	8	200	8.1
2015	1	7	9	230	4.6
2015	1	7	10	320	3.5
2015	1	7	11	320	9.2
2015	1	7	12	290	6.9
2015	1	7	13	290	5.8
2015	1	7	14	240	3.5
2015	1	7	15	280	5.8
2015	1	7	16	300	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	7	17	290	4.6
2015	1	7	18	250	3.5
2015	1	7	19	190	5.8
2015	1	7	20	300	5.8
2015	1	7	21	290	4.6
2015	1	7	22	270	5.8
2015	1	7	23	80	10.4
2015	1	8	24	290	15
2015	1	8	1	270	15
2015	1	8	2	290	12.7
2015	1	8	3	310	12.7
2015	1	8	4	260	10.4
2015	1	8	5	290	11.5
2015	1	8	6	310	13.8
2015	1	8	7	300	6.9
2015	1	8	8	30	4.6
2015	1	8	9	170	6.9
2015	1	8	10	150	5.8
2015	1	8	11	320	3.5
2015	1	8	12	260	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	8	13	300	5.8
2015	1	8	14	220	4.6
2015	1	8	15	320	8.1
2015	1	8	16	290	8.1
2015	1	8	17	300	6.9
2015	1	8	18	280	6.9
2015	1	8	19	230	8.1
2015	1	8	20	250	11.5
2015	1	8	21	280	13.8
2015	1	8	22	260	16.1
2015	1	8	23	270	12.7
2015	1	9	24	300	12.7
2015	1	9	1	310	13.8
2015	1	9	2	310	11.5
2015	1	9	3	320	11.5
2015	1	9	4	310	12.7
2015	1	9	5	290	11.5
2015	1	9	6	290	9.2
2015	1	9	7	290	10.4
2015	1	9	8	300	11.5

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	9	9	280	8.1
2015	1	9	10	250	4.6
2015	1	9	11	210	4.6
2015	1	9	12	270	3.5
2015	1	9	13	250	6.9
2015	1	9	14	260	6.9
2015	1	9	15	260	9.2
2015	1	9	16	280	10.4
2015	1	9	17	290	16.1
2015	1	9	18	300	16.1
2015	1	9	19	290	17.3
2015	1	9	20	300	15
2015	1	9	21	290	15
2015	1	9	22	300	12.7
2015	1	9	23	290	12.7
2015	1	10	24	310	10.4
2015	1	10	1	320	13.8
2015	1	10	2	320	16.1
2015	1	10	3	320	12.7
2015	1	10	4	310	15

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	10	5	290	11.5
2015	1	10	6	280	10.4
2015	1	10	7	260	9.2
2015	1	10	8	260	8.1
2015	1	10	9	270	6.9
2015	1	10	10	250	5.8
2015	1	10	11	250	4.6
2015	1	10	12	270	5.8
2015	1	10	13	280	5.8
2015	1	10	14	280	10.4
2015	1	10	15	270	8.1
2015	1	10	16	260	8.1
2015	1	10	17	300	13.8
2015	1	10	18	300	12.7
2015	1	10	19	300	16.1
2015	1	10	20	310	15
2015	1	10	21	310	17.3
2015	1	10	22	320	13.8
2015	1	10	23	320	13.8
2015	1	11	24	320	12.7

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	11	1	320	10.4
2015	1	11	2	310	9.2
2015	1	11	3	310	9.2
2015	1	11	4	300	11.5
2015	1	11	5	290	10.4
2015	1	11	6	270	9.2
2015	1	11	7	290	9.2
2015	1	11	8	300	8.1
2015	1	11	9	300	9.2
2015	1	11	10	290	8.1
2015	1	11	11	280	9.2
2015	1	11	12	260	10.4
2015	1	11	13	280	8.1
2015	1	11	14	290	8.1
2015	1	11	15	320	9.2
2015	1	11	16	280	9.2
2015	1	11	17	300	8.1
2015	1	11	18	290	11.5
2015	1	11	19	320	9.2
2015	1	11	20	310	12.7

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	11	21	320	12.7
2015	1	11	22	310	10.4
2015	1	11	23	300	15
2015	1	12	24	300	8.1
2015	1	12	1	280	11.5
2015	1	12	2	240	5.8
2015	1	12	3	240	5.8
2015	1	12	4	260	4.6
2015	1	12	5	230	5.8
2015	1	12	6	250	2.3
2015	1	12	7	180	3.5
2015	1	12	8	300	1.2
2015	1	12	9	240	4.6
2015	1	12	10	240	3.5
2015	1	12	11	280	3.5
2015	1	12	12	150	3.5
2015	1	12	13	120	3.5
2015	1	12	14	310	13.8
2015	1	12	15	290	11.5
2015	1	12	16	260	9.2

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	12	17	260	10.4
2015	1	12	18	240	4.6
2015	1	12	19	260	4.6
2015	1	12	20	240	2.3
2015	1	12	21	270	8.1
2015	1	12	22	260	10.4
2015	1	12	23	260	12.7
2015	1	13	24	260	10.4
2015	1	13	1	240	6.9
2015	1	13	2	220	3.5
2015	1	13	3	290	3.5
2015	1	13	4	240	3.5
2015	1	13	5	270	4.6
2015	1	13	6	270	3.5
2015	1	13	7	180	2.3
2015	1	13	8	310	5.8
2015	1	13	9	250	10.4
2015	1	13	10	260	15
2015	1	13	11	250	18.4
2015	1	13	12	280	12.7

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	13	13	290	18.4
2015	1	13	14	320	13.8
2015	1	13	15	330	10.4
2015	1	13	16	260	5.8
2015	1	13	17	310	5.8
2015	1	13	18	140	5.8
2015	1	13	19	290	3.5
2015	1	13	20	240	5.8
2015	1	13	21	200	5.8
2015	1	13	22	200	4.6
2015	1	13	23	260	1.2
2015	1	14	24	260	1.2
2015	1	14	1	320	6.9
2015	1	14	2	290	5.8
2015	1	14	3	320	3.5
2015	1	14	4	330	4.6
2015	1	14	5	300	5.8
2015	1	14	6	20	4.6
2015	1	14	7	160	3.5
2015	1	14	8	140	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	14	9	270	4.6
2015	1	14	10	150	6.9
2015	1	14	11	310	3.5
2015	1	14	12	140	6.9
2015	1	14	13	120	6.9
2015	1	14	14	110	5.8
2015	1	14	15	80	8.1
2015	1	14	16	90	9.2
2015	1	14	17	140	11.5
2015	1	14	18	240	13.8
2015	1	14	19	110	6.9
2015	1	14	20	130	5.8
2015	1	14	21	230	8.1
2015	1	14	22	0	0
2015	1	14	23	330	3.5
2015	1	15	24	260	1.2
2015	1	15	1	320	2.3
2015	1	15	2	320	4.6
2015	1	15	3	260	3.5
2015	1	15	4	320	3.5

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	15	5	260	4.6
2015	1	15	6	20	2.3
2015	1	15	7	240	6.9
2015	1	15	8	250	5.8
2015	1	15	9	270	6.9
2015	1	15	10	290	12.7
2015	1	15	11	310	16.1
2015	1	15	12	280	15
2015	1	15	13	300	12.7
2015	1	15	14	310	12.7
2015	1	15	15	310	11.5
2015	1	15	16	240	6.9
2015	1	15	17	270	3.5
2015	1	15	18	280	4.6
2015	1	15	19	280	3.5
2015	1	15	20	270	5.8
2015	1	15	21	290	3.5
2015	1	15	22	300	3.5
2015	1	15	23	320	2.3
2015	1	16	24	240	4.6

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	16	1	250	4.6
2015	1	16	2	250	4.6
2015	1	16	3	270	2.3
2015	1	16	4	320	4.6
2015	1	16	5	240	3.5
2015	1	16	6	190	4.6
2015	1	16	7	240	3.5
2015	1	16	8	250	9.2
2015	1	16	9	270	3.5
2015	1	16	10	180	4.6
2015	1	16	11	280	11.5
2015	1	16	12	280	4.6
2015	1	16	13	280	4.6
2015	1	16	14	240	4.6
2015	1	16	15	240	4.6
2015	1	16	16	250	2.3
2015	1	16	17	280	4.6
2015	1	16	18	260	8.1
2015	1	16	19	260	6.9
2015	1	16	20	270	6.9

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	16	21	250	5.8
2015	1	16	22	270	5.8
2015	1	16	23	290	6.9
2015	1	17	24	290	9.2
2015	1	17	1	290	9.2
2015	1	17	2	290	6.9
2015	1	17	3	310	8.1
2015	1	17	4	300	8.1
2015	1	17	5	10	6.9
2015	1	17	6	310	8.1
2015	1	17	7	290	5.8
2015	1	17	8	300	5.8
2015	1	17	9	300	5.8
2015	1	17	10	180	2.3
2015	1	17	11	280	4.6
2015	1	17	12	350	5.8
2015	1	17	13	350	4.6
2015	1	17	14	50	6.9
2015	1	17	15	60	3.5
2015	1	17	16	310	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	17	17	290	8.1
2015	1	17	18	270	4.6
2015	1	17	19	260	4.6
2015	1	17	20	240	5.8
2015	1	17	21	270	3.5
2015	1	17	22	220	4.6
2015	1	17	23	0	0
2015	1	18	24	290	2.3
2015	1	18	1	290	4.6
2015	1	18	2	290	4.6
2015	1	18	3	280	2.3
2015	1	18	4	270	3.5
2015	1	18	5	220	3.5
2015	1	18	6	310	2.3
2015	1	18	7	290	2.3
2015	1	18	8	300	3.5
2015	1	18	9	300	3.5
2015	1	18	10	70	8.1
2015	1	18	11	50	8.1
2015	1	18	12	60	8.1

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	18	13	120	5.8
2015	1	18	14	330	4.6
2015	1	18	15	0	0
2015	1	18	16	360	3.5
2015	1	18	17	0	0
2015	1	18	18	10	3.5
2015	1	18	19	190	5.8
2015	1	18	20	180	6.9
2015	1	18	21	300	4.6
2015	1	18	22	310	6.9
2015	1	18	23	280	5.8
2015	1	19	24	280	5.8
2015	1	19	1	260	6.9
2015	1	19	2	260	9.2
2015	1	19	3	280	6.9
2015	1	19	4	280	9.2
2015	1	19	5	310	5.8
2015	1	19	6	280	9.2
2015	1	19	7	280	9.2
2015	1	19	8	340	8.1

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	19	9	350	11.5
2015	1	19	10	200	21.9
2015	1	19	11	250	9.2
2015	1	19	12	230	5.8
2015	1	19	13	250	6.9
2015	1	19	14	260	8.1
2015	1	19	15	250	6.9
2015	1	19	16	240	4.6
2015	1	19	17	270	5.8
2015	1	19	18	290	5.8
2015	1	19	19	260	3.5
2015	1	19	20	260	3.5
2015	1	19	21	280	4.6
2015	1	19	22	290	6.9
2015	1	19	23	260	6.9
2015	1	20	24	240	8.1
2015	1	20	1	260	6.9
2015	1	20	2	270	6.9
2015	1	20	3	280	6.9
2015	1	20	4	280	11.5

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	20	5	280	11.5
2015	1	20	6	280	5.8
2015	1	20	7	270	5.8
2015	1	20	8	300	8.1
2015	1	20	9	280	4.6
2015	1	20	10	300	5.8
2015	1	20	11	280	6.9
2015	1	20	12	260	9.2
2015	1	20	13	250	4.6
2015	1	20	14	290	4.6
2015	1	20	15	290	6.9
2015	1	20	16	290	8.1
2015	1	20	17	280	6.9
2015	1	20	18	270	8.1
2015	1	20	19	270	6.9
2015	1	20	20	270	8.1
2015	1	20	21	320	6.9
2015	1	20	22	300	5.8
2015	1	20	23	300	10.4
2015	1	21	24	30	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	21	1	310	4.6
2015	1	21	2	270	6.9
2015	1	21	3	280	6.9
2015	1	21	4	270	6.9
2015	1	21	5	310	6.9
2015	1	21	6	300	8.1
2015	1	21	7	270	6.9
2015	1	21	8	270	6.9
2015	1	21	9	280	8.1
2015	1	21	10	280	9.2
2015	1	21	11	290	9.2
2015	1	21	12	280	9.2
2015	1	21	13	250	8.1
2015	1	21	14	290	6.9
2015	1	21	15	280	10.4
2015	1	21	16	250	9.2
2015	1	21	17	290	9.2
2015	1	21	18	270	8.1
2015	1	21	19	280	4.6
2015	1	21	20	280	13.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	21	21	270	9.2
2015	1	21	22	260	8.1
2015	1	21	23	260	4.6
2015	1	22	24	280	9.2
2015	1	22	1	290	5.8
2015	1	22	2	310	9.2
2015	1	22	3	300	9.2
2015	1	22	4	290	11.5
2015	1	22	5	280	12.7
2015	1	22	6	270	13.8
2015	1	22	7	270	17.3
2015	1	22	8	270	15
2015	1	22	9	280	13.8
2015	1	22	10	290	16.1
2015	1	22	11	320	15
2015	1	22	12	320	12.7
2015	1	22	13	320	11.5
2015	1	22	14	320	8.1
2015	1	22	15	310	9.2
2015	1	22	16	300	12.7

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	22	17	280	9.2
2015	1	22	18	270	10.4
2015	1	22	19	260	12.7
2015	1	22	20	260	6.9
2015	1	22	21	280	8.1
2015	1	22	22	280	6.9
2015	1	22	23	270	5.8
2015	1	23	24	280	5.8
2015	1	23	1	280	10.4
2015	1	23	2	260	11.5
2015	1	23	3	300	9.2
2015	1	23	4	290	10.4
2015	1	23	5	260	13.8
2015	1	23	6	290	15
2015	1	23	7	290	10.4
2015	1	23	8	290	13.8
2015	1	23	9	280	10.4
2015	1	23	10	320	4.6
2015	1	23	11	290	4.6
2015	1	23	12	220	6.9

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	23	13	280	12.7
2015	1	23	14	260	10.4
2015	1	23	15	290	6.9
2015	1	23	16	280	8.1
2015	1	23	17	240	6.9
2015	1	23	18	290	5.8
2015	1	23	19	290	4.6
2015	1	23	20	290	4.6
2015	1	23	21	290	5.8
2015	1	23	22	280	5.8
2015	1	23	23	280	5.8
2015	1	24	24	270	6.9
2015	1	24	1	260	10.4
2015	1	24	2	280	9.2
2015	1	24	3	10	5.8
2015	1	24	4	210	3.5
2015	1	24	5	310	10.4
2015	1	24	6	250	5.8
2015	1	24	7	300	9.2
2015	1	24	8	210	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	24	9	30	3.5
2015	1	24	10	0	0
2015	1	24	11	280	4.6
2015	1	24	12	250	5.8
2015	1	24	13	250	4.6
2015	1	24	14	310	4.6
2015	1	24	15	270	8.1
2015	1	24	16	280	8.1
2015	1	24	17	260	6.9
2015	1	24	18	240	9.2
2015	1	24	19	270	9.2
2015	1	24	20	290	8.1
2015	1	24	21	330	5.8
2015	1	24	22	230	4.6
2015	1	24	23	310	8.1
2015	1	25	24	300	8.1
2015	1	25	1	210	5.8
2015	1	25	2	300	6.9
2015	1	25	3	270	3.5
2015	1	25	4	260	6.9

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	25	5	250	3.5
2015	1	25	6	310	5.8
2015	1	25	7	230	4.6
2015	1	25	8	330	5.8
2015	1	25	9	310	8.1
2015	1	25	10	290	4.6
2015	1	25	11	270	9.2
2015	1	25	12	280	5.8
2015	1	25	13	270	9.2
2015	1	25	14	270	12.7
2015	1	25	15	260	16.1
2015	1	25	16	280	10.4
2015	1	25	17	310	10.4
2015	1	25	18	20	4.6
2015	1	25	19	350	5.8
2015	1	25	20	280	6.9
2015	1	25	21	320	3.5
2015	1	25	22	270	3.5
2015	1	25	23	300	5.8
2015	1	26	24	300	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	26	1	260	5.8
2015	1	26	2	280	9.2
2015	1	26	3	270	6.9
2015	1	26	4	280	6.9
2015	1	26	5	240	5.8
2015	1	26	6	280	5.8
2015	1	26	7	290	8.1
2015	1	26	8	270	6.9
2015	1	26	9	290	6.9
2015	1	26	10	270	9.2
2015	1	26	11	310	9.2
2015	1	26	12	310	11.5
2015	1	26	13	280	8.1
2015	1	26	14	230	8.1
2015	1	26	15	230	8.1
2015	1	26	16	290	6.9
2015	1	26	17	320	5.8
2015	1	26	18	340	5.8
2015	1	26	19	330	4.6
2015	1	26	20	240	4.6

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	26	21	210	6.9
2015	1	26	22	270	2.3
2015	1	26	23	340	4.6
2015	1	27	24	300	3.5
2015	1	27	1	260	4.6
2015	1	27	2	260	1.2
2015	1	27	3	270	5.8
2015	1	27	4	280	5.8
2015	1	27	5	280	9.2
2015	1	27	6	290	5.8
2015	1	27	7	310	9.2
2015	1	27	8	300	9.2
2015	1	27	9	290	11.5
2015	1	27	10	280	12.7
2015	1	27	11	270	13.8
2015	1	27	12	270	17.3
2015	1	27	13	270	15
2015	1	27	14	280	13.8
2015	1	27	15	290	16.1
2015	1	27	16	320	15

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	27	17	320	12.7
2015	1	27	18	320	11.5
2015	1	27	19	320	8.1
2015	1	27	20	310	9.2
2015	1	27	21	300	12.7
2015	1	27	22	280	9.2
2015	1	27	23	270	10.4
2015	1	28	24	260	12.7
2015	1	28	1	260	6.9
2015	1	28	2	280	8.1
2015	1	28	3	280	6.9
2015	1	28	4	270	5.8
2015	1	28	5	280	5.8
2015	1	28	6	280	10.4
2015	1	28	7	260	11.5
2015	1	28	8	300	9.2
2015	1	28	9	290	10.4
2015	1	28	10	260	13.8
2015	1	28	11	290	15
2015	1	28	12	290	10.4

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	28	13	290	13.8
2015	1	28	14	280	10.4
2015	1	28	15	320	4.6
2015	1	28	16	290	4.6
2015	1	28	17	220	6.9
2015	1	28	18	280	12.7
2015	1	28	19	260	10.4
2015	1	28	20	290	6.9
2015	1	28	21	280	8.1
2015	1	28	22	240	6.9
2015	1	28	23	290	5.8
2015	1	29	24	290	4.6
2015	1	29	1	290	4.6
2015	1	29	2	290	5.8
2015	1	29	3	280	5.8
2015	1	29	4	280	5.8
2015	1	29	5	270	6.9
2015	1	29	6	260	10.4
2015	1	29	7	280	9.2
2015	1	29	8	10	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	29	9	210	3.5
2015	1	29	10	310	10.4
2015	1	29	11	250	5.8
2015	1	29	12	300	9.2
2015	1	29	13	210	5.8
2015	1	29	14	30	3.5
2015	1	29	15	0	0
2015	1	29	16	280	4.6
2015	1	29	17	250	5.8
2015	1	29	18	250	4.6
2015	1	29	19	310	4.6
2015	1	29	20	270	8.1
2015	1	29	21	280	8.1
2015	1	29	22	260	6.9
2015	1	29	23	240	9.2
2015	1	30	24	270	9.2
2015	1	30	1	290	8.1
2015	1	30	2	330	5.8
2015	1	30	3	230	4.6
2015	1	30	4	310	8.1

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	30	5	300	8.1
2015	1	30	6	210	5.8
2015	1	30	7	300	6.9
2015	1	30	8	270	3.5
2015	1	30	9	260	6.9
2015	1	30	10	250	3.5
2015	1	30	11	310	5.8
2015	1	30	12	230	4.6
2015	1	30	13	330	5.8
2015	1	30	14	310	8.1
2015	1	30	15	290	4.6
2015	1	30	16	270	9.2
2015	1	30	17	280	5.8
2015	1	30	18	270	9.2
2015	1	30	19	270	12.7
2015	1	30	20	260	16.1
2015	1	30	21	280	10.4
2015	1	30	22	310	10.4
2015	1	30	23	20	4.6
2015	1	31	24	350	5.8

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

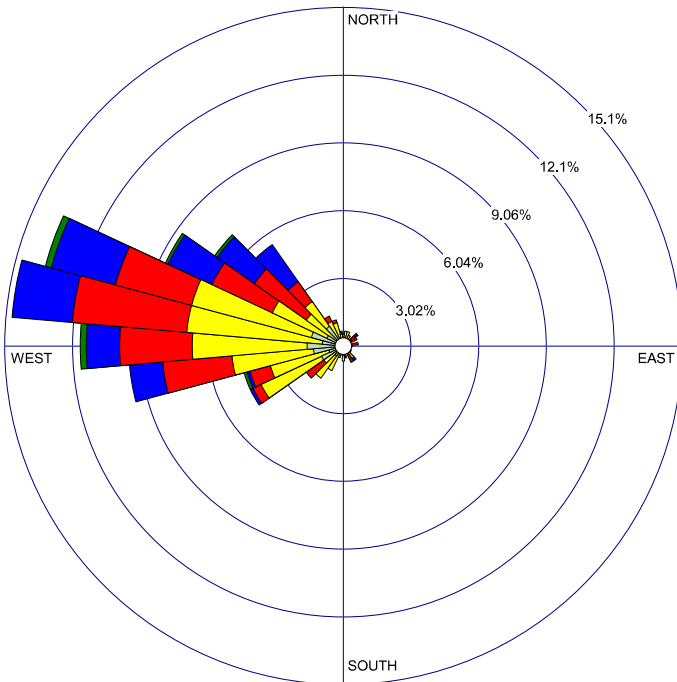
TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	31	1	280	6.9
2015	1	31	2	320	3.5
2015	1	31	3	270	3.5
2015	1	31	4	300	5.8
2015	1	31	5	300	5.8
2015	1	31	6	260	5.8
2015	1	31	7	280	9.2
2015	1	31	8	270	6.9
2015	1	31	9	280	6.9
2015	1	31	10	240	5.8
2015	1	31	11	280	5.8
2015	1	31	12	290	8.1
2015	1	31	13	270	6.9
2015	1	31	14	290	6.9
2015	1	31	15	270	9.2
2015	1	31	16	310	9.2
2015	1	31	17	310	11.5
2015	1	31	18	280	8.1
2015	1	31	19	230	8.1
2015	1	31	20	230	8.1

Data Angin Bandara Juanda Januari 2016

TAHUN	BULAN	HARI	JAM	ARAH	KECEPATAN (Knots)
2015	1	31	21	290	6.9
2015	1	31	22	320	5.8
2015	1	31	23	340	5.8

WIND ROSE PLOT:
Station # 123

DISPLAY:
Wind Speed
Direction (blowing from)



WIND SPEED
(Knots)

Light Blue	>= 21.58
Dark Blue	17.11 - 21.58
Red	11.08 - 17.11
Yellow	7.00 - 11.08
Green	4.08 - 7.00
Light Green	0.97 - 4.08
Calms: 1.21%	

COMMENTS:

DATA PERIOD:

Start Date: 1/1/2015 - 01:00
End Date: 1/31/2015 - 23:00

COMPANY NAME:

MODELER:

CALM WINDS:

1.21%

TOTAL COUNT:

743 hrs.

AVG. WIND SPEED:

7.57 Knots

DATE:

12/13/2017

PROJECT NO.:

Analisa Crosswind

Runway orientation (degree)	Wind coverage (%)	Max crosswind from left (user units)	Max crosswind from right (user units)	Average of absolute values of crosswind (user units)
0	100	12.33331583	17.29999924	6.471502981
10	100	11.12022516	18.12046228	6.611294569
20	100	13.25256828	18.39999962	6.570771993
30	100	14.98223882	18.12046228	6.360234543
40	100	16.25668162	17.29999924	5.987294599
50	100	17.03717338	17.03717338	5.46155428
60	100	17.29999924	16.25668162	4.841056141
70	100	17.03717338	15.12905155	4.174896063
80	100	18.96595601	13.94300933	3.49242976
90	99.8654105	20.57926804	12.33331583	2.983133846
100	99.8654105	21.56728942	12.33331583	2.702541294
110	99.8654105	21.89999962	13.94300933	2.754438867
120	99.8654105	21.56728942	15.12905155	3.120469147
130	99.8654105	20.57926804	15.8554052	3.665222332
140	100	18.96595601	16.10000038	4.336341657
150	100	18.12046228	15.8554052	5.058980558
160	100	18.39999962	15.12905155	5.679789006
170	100	18.12046228	13.94300933	6.151858587
180	100	17.29999924	12.33331583	6.471502981
190	100	18.12046228	11.12022516	6.611294569
200	100	18.39999962	13.25256828	6.570771993
210	100	18.12046228	14.98223882	6.360234543
220	100	17.29999924	16.25668162	5.987294599
230	100	17.03717338	17.03717338	5.46155428
240	100	16.25668162	17.29999924	4.841056141
250	100	15.12905155	17.03717338	4.174896063
260	100	13.94300933	18.96595601	3.49242976
270	99.8654105	12.33331583	20.57926804	2.983133846
280	99.8654105	12.33331583	21.56728942	2.702541294
290	99.8654105	13.94300933	21.89999962	2.754438867
300	99.8654105	15.12905155	21.56728942	3.120469147
310	99.8654105	15.8554052	20.57926804	3.665222332
320	100	16.10000038	18.96595601	4.336341657
330	100	15.8554052	18.12046228	5.058980558
340	100	15.12905155	18.39999962	5.679789006
350	100	13.94300933	18.12046228	6.151858587

BIODATA PENULIS



Reynaldi Tejakesuma, dilahirkan di Surabaya, 02 April 1996, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal TK Santo Yoseph Makassar tahun 2000, SDK Stella Maris Surabaya tahun 2002, SMP YPPI-2 Surabaya tahun 2008, dan SMA YPPI-1 Surabaya tahun 2011. Setelah lulus dari SMA Penulis mengikuti Seleksi

Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) yang diadakan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (RISTEKDIKTI) dan diterima di Program Studi S1 Teknik Sipil yang diselenggarakan oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 3114100119. Di Jurusan Teknik Sipil Penulis mengambil bidang studi Transportasi. Penulis dapat dihubungi melalui *email*: reynaldysas@gmail.com